

LA MISURA DELLE GRANDEZZE

M. Cunietti

Scopo di questa esposizione a carattere introduttivo è quello di cercare di mostrare cosa significhi e in che consista quella strana operazione che si chiama « misurare ». Essa è una operazione veramente strana. Io posso pensare alla ruota, forse una delle più grandi invenzioni delle età preistoriche, come a un furto che l'uomo ha fatto alla natura, un furto dello stesso tipo del furto di Prometeo che rubò il fuoco agli dei. Il fuoco, la ruota, il pane, il vino, l'energia atomica, le grandi invenzioni, le vere invenzioni dell'umanità sono in fondo suggerite dalla natura stessa: noi le troviamo in natura, poi le rimanipoliamo e le adulteriamo. Abbiamo visto un tronco rotolare ed è nata l'idea della ruota; si è visto fare una miscela di farina, il grano lievitare, ed è nato il pane; il sole è una pila atomica colossale.

Ma quale elemento della natura ha suggerito all'uomo la misura? Niente. La misura è tutta quanta opera dell'uomo, non l'ha rubata a nessuno, non è una operazione mimetica. Non esiste una operazione naturale che ci porti ad un numero, il numero è frutto dell'intervento umano.

A cosa serve dunque la misura all'uomo che la crea?

L'uomo, questo strano indefinibile elemento del reale, si trova in una posizione estremamente critica in mezzo alla natura: è quasi un pendolo che oscilla tra l'accettare quello che gli viene suggerito dal mondo delle percezioni circostanti e lo sforzo creativo di produrre qualcosa di permanente in mezzo a queste percezioni. Noi stiamo continuamente oscillando tra il mondo della scienza e il mondo della tecnica. La scienza consiste nel cercare di capire la natura osservando come si comporta; la tecnica consiste invece nell'agire in maniera da modificare il mondo nel quale viviamo affinché porti impresso il suggello dell'umanità che vi è passata.

La misura è il tramite indispensabile tra la scienza e la tecnica.

L'uomo cerca di indagare nella natura e dalla natura ottiene una tabellina di numeri che sono misure. L'uomo studia questa tabellina di numeri, la medita, la rielabora, la confronta. Ma dopo un po', da questo suo meditare, nasce un oggetto che porta l'impronta dell'uomo. L'uomo, da scienziato, è diventato tecnico; ha preso quei numeri dalla tabellina, li ha rielaborati ottenendo altri numeri. Questi numeri, utilizzando un processo inverso a quello iniziale, li ha riversati nella natura costruendo un oggetto. L'oggetto così costruito non è più qualche cosa solo nella mente dell'uomo: è qualche cosa nella natura stessa, è qualche cosa che è entrato nella natura e l'ha modificata.

Queste premesse servono a puntualizzare un elemento fondamentale della misura: la sua nascita e la sua vita interamente umane; essa serve all'uomo per trasferire le sue conoscenze scientifiche nelle sue produzioni tecniche: una volta adempiuto questo compito, i numeri, quindi le misure, scompaiono, restano solo gli oggetti portatori dell'impronta dell'uomo.

Proprio per questa loro natura, le misure sono entità particolari che non possono non stimolare la nostra curiosità ed il nostro interesse. Domandiamoci allora innanzitutto che cosa si misura. La risposta è pronta, ma ambigua: « Le grandezze fisiche ». La risposta suscita la nuova domanda: « Cos'è una grandezza fisica? ». Cercherò di dare una risposta a questa domanda con un esempio banale. Le riviste femminili sono piene di pagine pubblicitarie di detersivi per lavatrici: uno lava bianco, ma un altro lava più bianco, finché arriva un altro che non solo lava bianco, non solo lava più bianco, ma lava e misura il bianco. Il bianco, più bianco, la misura del bianco: ecco tracciato sulla pubblicità dei detersivi il percorso di quella che è in realtà la grandezza fisica. Esistono delle qualità che possono essere possedute in maniera diversa dagli oggetti. Se questa qualità è un aggettivo

del quale posso fare il comparativo, allora essa è una grandezza: bianco, più bianco, meno bianco. « Bianco » è perciò una grandezza. Lungo, più lungo, meno lungo: lungo o, meglio il sostantivo « lunghezza », è una grandezza.

La grandezza fisica però non avrebbe una grande importanza nel mondo della scienza e nel mondo della tecnica se non fosse possibile misurarla. Misurare, che cosa vuol dire?

Immaginate il bianco di tutte le lenzuola dell'universo. Nasce così la classe delle grandezze del bianco delle lenzuola, perché si è visto che, a seconda del detersivo usato, un lenzuolo può risultare più bianco dell'altro.

Utilizzando questa relazione, mettiamo tutte le lenzuola in ordine di bianco crescente. Ogni lenzuolo è più bianco dei precedenti e meno dei seguenti. Prendiamo ora la serie dei numeri e creiamo un legame per ciascuna delle grandezze di bianco e ciascun numero della serie dei numeri, in maniera tale che non vi siano ambiguità.

Ogni classe di grandezze può essere sottoposta al medesimo trattamento, cioè può essere serializzata in base alla relazione « più o meno », esistente fra i termini. Ottenuta la serie, si passa alla misura mediante associazione univoca delle grandezze della serie alla serie dei numeri. Illustrare come avviene questa associazione vuol dire appunto indicare il fondamento del misurare.

Tale associazione può avvenire in due modi diversi: per ordine o per numerosità. Non vi meravigli ciò, perché implicitamente lo si è già accettato quando si è accettato che i numeri fossero di due tipi: cardinali e ordinali. I primi indicano la numerosità degli elementi che compongono un gruppo, un insieme, mentre i secondi indicano la posizione di ogni termine nell'ordine seriale.

Mettiamo delle mele in ordine di peso crescente: il peso di una mela è una grandezza. Le mele così ordinate formano una classe di grandezze. Possiamo, associandole ai numeri ordinali, numerarle, così facendo: prima mela, seconda mela, terza mela e così via; oppure possiamo contare i componenti del gruppo di mele che vanno dalla prima mela alla mela il cui peso vogliamo misurare e associare alla mela che ci interessa il numero così trovato che è un numero cardinale.

A questi due differenti tipi di numerazione corrispondono due tipi differenti di procedimento di misura: la numerazione che porta ai numeri cardinali attraverso la numerosità, alle misure dirette; la numerazione, per ordine, che utilizza i numeri ordinali, alle misure indirette.

La misurazione attraverso la numerosità, e quindi i numeri cardinali, è la più semplice. Il computo del numero di elementi che compongono un insieme o gruppo, indipendentemente dall'ordine è una operazione semplice intuitiva immediata. La numerazione attraverso l'ordine è più complessa in quanto esige la costruzione di tutta l'ordinata seriazione.

Analizziamo dapprima il metodo di misurare più semplice, quello attraverso la numerosità. Contare la numerosità di un insieme vuol dire fare una somma di unità: uno più uno due, più uno tre, più uno quattro e così via. Tale metodo di misura è appunto basato sulla somma.

Si voglia ad esempio misurare il volume di una vasca. Prendo un bicchiere, lo riempio d'acqua, rovescio l'acqua nella vasca, riempio di nuovo il bicchiere e di nuovo lo rovescio nella vasca e così via. Conto i bicchieri rovesciati: un bicchiere più un bicchiere due bicchieri, più un altro bicchiere tre bicchieri, e così via. Fino a quando? Fino a che non dico: « La vasca è piena ».

Il numero che dà i bicchieri rovesciati per riempire la vasca è la misura del volume della vasca in bicchieri.

Riempire un bicchiere d'acqua e rovesciarlo nella vasca è una operazione di somma del volume del bicchiere al volume dell'acqua già rovesciata. E' la somma della grandezza volume del bicchiere alla grandezza volume dell'acqua versata e non solamente la somma di unità numeriche.

Ogni tipo di misura diretta è riconducibile ad una operazione di somma di successive grandezze unitarie. Altro esempio semplice è l'orologio che misura

il tempo sommando unità elementari che possono essere oscillazioni di un bilanciere, oscillazioni del pendolo, vibrazioni di un diapason, vibrazioni di un cristallo o di atomi entro il reticolo cristallino.

Quando si parla di misura di una massa si pensa immediatamente alla bilancia, a quella che un tempo avevano i farmacisti sotto le vetrinette di vetro. Come si fa a misurare la massa con la bilancia? Su di un piatto metto la massa che voglio misurare e sull'altro piatto metto tanti oggettini tolti da una apposita scatola che chiamo massiera, fino a che vedo l'indice tornare nella stessa posizione in cui si trovava quando non c'era niente né sull'uno né sull'altro piatto. In tal modo ho confrontato la massa che sta da una parte della bilancia con la massa che sta dall'altra parte e ho detto che le due masse sono uguali. Questa non è però ancora l'operazione di misura. Prendo allora questi piccoli oggettini e sommo i numeri che trovo scritti su di essi.

Anche qui allora incontriamo l'operazione di somma. Ho sommato solo dei numeri? No! Non è solo una somma di numeri perché l'operazione estremamente semplice e banale di prendere il piccolo oggetto che sta dentro la massiera e di portarlo sul piatto della bilancia è un'operazione di somma di grandezze di massa.

La misura del volume di una vasca mediante un bicchiere, la misura del tempo mediante il bilanciere, la misura della massa mediante la bilancia sono tutti esempi in cui è presente l'operazione di somma ed inoltre sono tutte operazioni di misura diretta. Lo strumento di misura diretta è basato essenzialmente sull'operazione della somma.

Viene ora spontaneo porci una domanda. Quando io misuro una lunghezza con una riga millimetrata compio una misura diretta, eppure non eseguo un'operazione di somma. Perché? L'hanno già fatta altri in precedenza al mio posto. La riga altro non è che la somma di un millimetro con un altro millimetro, con un altro millimetro, ecc. ecc. La macchina a dividere quando l'ha tracciata ha sommato un millimetro dietro l'altro.

Tutti gli strumenti di misura diretta sono riconducibili a questo schema fondamentale, ad una operazione di somma; operazione di somma che può essere eseguita nello stesso momento in cui si misura (come ad esempio nella misura della capacità della vasca o del tempo), oppure l'operazione è già stata in parte (misura della massa con la bilancia) o totalmente (misura della lunghezza con una riga millimetrata) eseguita; altri mi hanno sollevato da questo lavoro.

Ma sommare non basta. Per misurare la durata di un fenomeno, debbo confrontare la durata che io ricavo come somma dei tempuscoli con la durata del fenomeno che mi interessa. Il volume dell'acqua che ho buttato dentro la vasca lo devo confrontare con il volume della vasca stessa. La massa che ho messo da una parte della bilancia va confrontata con la massa che ho messo dalla altra parte. Con il righello, per misurare la lunghezza che mi interessa, la confronto con la lunghezza corrispondente già realizzata sul righello.

In tutti gli strumenti di misura diretta vengono eseguite queste due operazioni fondamentali: l'operazione di somma e quella di confronto. In tutte le misure dirette io costruisco con l'operazione di somma qualche cosa che confronto con quel qualcos'altro che voglio misurare. In tutti gli strumenti di misura diretta esiste perciò questa duplicità di organi: gli organi che servono per sommare gli elementi unitari e gli organi che servono per confrontare. In tutte le operazioni di misura diretta avviene sempre, oltre alla somma, un confronto. Esistono strumenti di misura diretta terribilmente complessi ed altri invece non molto complessi, ma tutti si basano sullo stesso procedimento; a volte è complicata la operazione di somma, a volte è complicata l'operazione di confronto, a volte sono semplici tutte e due, a volte entrambe sono complesse.

Se debbo fare l'operazione di confronto fra il volume dell'acqua versata nella vasca e il volume della vasca stessa, basta che io constati che il livello dell'acqua

giunge fino al bordo. E' un'operazione di confronto estremamente banale, ma è pur sempre un'operazione di confronto.

La bilancia invece è uno strumento più complicato. Mentre la operazione di somma è banalissima, quella di confronto è più complessa perchè richiede la presenza di un sistema statico che deve essere fatto ritornare all'equilibrio iniziale.

Inutile continuare negli esempi. Ciò che importa è ciò che si è raggiunto: lo schema logico di uno strumento di misura diretta. Questo schema si basa sul seguente principio generale: mediante l'operazione di somma si costruisce, al momento, oppure è già stata costruita, una grandezza che, confrontata con quella da misurare deve risultare ad essa uguale. La prima grandezza, proprio perchè costruita da noi pezzo per pezzo, è anche un insieme di pezzi che possono essere contati. Il numero cardinale che rappresenta la numerosità di questi pezzi è la misura della grandezza costruita, ma anche della grandezza ad essa uguale per confronto, cioè è la misura cercata.

Operazione di somma e operazione di confronto costituiscono nel loro insieme lo strumento di misura diretta; ad esse corrispondono due organi fondamentali e distinti dello strumento.

Ma perchè il numero così ottenuto risulti valido sia nell'ambito della scienza che in quello della tecnica, per chiunque lo voglia usare, gli strumenti devono ovviamente possedere due caratteristiche: innanzitutto gli elementi che si sommano uno per uno debbono essere tutti uguali fra loro; inoltre per tutti gli strumenti che misurano le stesse grandezze deve occorrere un ugual numero di tali elementi per costruire una grandezza uguale all'unità di misura (mille millimetri per costruire il metro, unità di misura delle lunghezze, mille grammi per costruire il chilogrammo, unità di misura delle masse). E' intuitivo comprendere come solo se sono soddisfatti questi due requisiti, l'operazione di misura dà risultati univoci con qualsiasi strumento in qualsiasi momento. Queste due condizioni in uno strumento di misura diretta, come per esempio il regolo, si realizzano nella linearità della graduazione della scala e nel valore numerico di ciascun intervallo.

Sarà bene, per chiarezza, applicare questo tipo di analisi logica al caso di uno strumento reale, uno strumento topografico fra i più comuni, il goniometro, misuratore di angoli azimutali. In esso si dovranno ritrovare tutti gli organi, le funzioni, le operazioni proprie dello strumento di misura diretta.

Il cerchio graduato è l'organo che contiene in sè, già eseguite, le somme di tutti gli angoli elementari. Esso è stato ottenuto dalla macchina a dividere: essa ha tracciato sulla lastra di vetro un tratto radiale tutte le volte che veniva incrementata la sua posizione angolare di una quantità (un angolo) elementare. Il cerchio è stato tracciato come somma di tanti angoli elementari. Essi sono tutti uguali fra loro. Lo studio dei cerchi mira proprio a verificare che i singoli intervalli siano tutti uguali. Inoltre ogni angolo elementare, o parte della graduazione, è un sottomultiplo decimale intero dell'unità di misura: un quattrocentesimo dell'angolo giro. Le caratteristiche logiche richieste da tale organo sono rispettate.

L'alidada che ruota intorno al suo asse principale è l'organo che funge da intermediario per il confronto. Come si potrebbe confrontare direttamente l'angolo definito da due piani verticali immaginari legati al terreno con uno degli angoli già costruiti nel cerchio graduato! L'angolo di cui ruota l'alidada posta col suo asse sullo spigolo dell'angolo diedro quando il cannocchiale passa dalla collimazione di un punto alla collimazione dell'altro è un angolo ausiliario che, per la proprietà transitiva dell'uguaglianza (se $A = B$ e $B = C$ anche $A = C$) permetterà di portare a confronto i due elementi della misura. Col cannocchiale noi facciamo sì che l'angolo di cui ruota l'alidada sia uguale all'angolo sul terreno; con il microscopio noi confrontiamo l'angolo di cui è ruotata l'alidada

con uno degli angoli già riportati sul cerchio. Il micrometro, il nonio, la scala, servono solo a permettere questo confronto quando l'intervallo di graduazione è maggiore della sensibilità della misura.

A questo punto la logica del misurare richiederebbe un computo, contare cioè gli angoli elementari che sono stati sommati dalla macchina a dividere per ottenere l'angolo di cui ha ruotato l'alidada. Ma questa operazione, assai lunga anche se banale, è resa facilissima perchè la posizione di ciascun tratto è numerata e il computo del numero degli angoli elementari sommati è ottenuto per differenza fra le due posizioni estreme.

Tutto rientra nel mosaico logico descritto e il quadro è completo.

Brevemente vi posso ora dire che nel livello l'organo di misura sono le stadie, mentre il cannocchiale e la livella servono per il confronto a distanza di punti aventi la stessa quota. Alle quote dei due punti occorre aggiungere due segmenti (le due letture sulle stadie) per portarli alla stessa quota. Sarà ovviamente a quota più alta quel punto sul quale si è dovuto aggiungere un segmento di lunghezza minore. Le stadie misurano questi segmenti con il metodo già visto per il regolo graduato.

Si può impostare un ragionamento analogo imperniato sullo schema logico descritto anche per la misura topografica della distanza fatta con il cannocchiale munito di reticolo diastimometrico? E' subito evidente che ciò non è possibile. Tutta l'operazione è fondata su principi totalmente diversi.

Questo ci riporta all'inizio del presente discorso, all'altro tipo di misura, quella indiretta, che sfrutta, rimanendo sul piano della logica, i numeri ordinali.

Guardo l'orologio e vedo le ore: sono le cinque e quarantotto. Cosa vuol dire 5 ore e 48 minuti? E' una misura diretta quella che io ho fatto? No! avrei dovuto dire: è la quinta ora e il quarantottesimo minuto, perché in realtà questa che io leggo è una numerosità di oscillazioni, ma che mi è servita per stabilire il posizionamento ordinato dei successivi avvenimenti della mia giornata. Io uso ancora dei numeri cardinali, ma in realtà dovrei usare numeri ordinali. Quando noi guardiamo l'orologio per conoscere l'ora desideriamo sapere che posizione assume un certo avvenimento nella serie ordinata degli istanti.

L'orologio appunto mi mette in fila i secondi, li ordina e serializza con riferimento alla mezzanotte.

Prendiamo un altro esempio proprio inerente alla professione del topografo. Oriente il cerchio graduato in una certa direzione. Se collimo con il cannocchiale altri punti del mio orizzonte e compio le letture corrispondenti sul cerchio, ottengo le direzioni di questi punti.

Il cerchio graduato mi ha ordinato e serializzato la direzione dei diversi punti collimati rispetto alla direzione origine. La direzione è una grandezza dello stesso tipo dell'ora del giorno. E' la grandezza che mi determina la posizione spaziale della retta che va ad un certo punto, nella serie di tutte le rette che vanno a tutti i possibili punti a partire dal punto di stazione. Anche per misurare la direzione dovrei usare perciò numeri ordinali e non cardinali: « il 38esimo secondo del 22esimo primo del 123esimo grado ».

Sia l'orologio che misura direttamente le durate come somme di durate elementari, sia il goniometro che misura direttamente gli angoli come somma di angoli elementari, possono diventare strumenti per serializzare gli istanti di una giornata o le direzioni nello spazio. Quello che succede per l'orologio e il goniometro può succedere e succede per ogni altro strumento di misura diretta.

Sia data una serie costituita; per conoscere la posizione dell'elemento della serie possiamo far passare partendo dall'origine uno per uno gli elementi della serie attribuendo a ciascuno il numero ordinale che gli compete, oppure possiamo contare semplicemente la numerosità dell'insieme costituito da tutti gli elementi della serie che precedono l'elemento dato; quindi, se vogliamo, possiamo trasformare il numero cardinale che misura la numerosità in numero ordinale.

Il passaggio dal numero cardinale al numero ordinale qui è immediato. Ma non in tutti i casi può esserci una corrispondenza così immediata.

Un esempio potrà aiutare a comprendere.

Supponiamo di avere la famiglia intera di tutti i possibili rettangoli; le aree di ciascuno di questi rettangoli formano una classe di grandezze. Mediante un criterio di misura diretta delle aree (per esempio quello di contare i quadratini con lato di un millimetro contenuti nella figura) possiamo serializzare la famiglia delle aree dei rettangoli dalla più piccola alla più grossa e attribuire immediatamente a ciascun rettangolo come posizione, e quindi misura attraverso il numero ordinale, il corrispondente numero cardinale che misura direttamente l'area attraverso la numerosità degli elementi di area. Si constata però che alla stessa posizione nell'ordine e quindi allo stesso numero ordinale si può giungere anche in altro modo. Si misurano direttamente i lati del triangolo ottenendo due numeri cardinali; se ne fa il prodotto ottenendo un altro numero cardinale, si trasforma tale numero cardinale nel corrispondente ordinale. I due numeri ordinali così ottenuti coincidono. In questo caso è evidente che si è operato indirettamente. Per ottenere la misura seriale della grandezza « area » si sono misurate direttamente due lunghezze, quindi si è operato un calcolo. Che questa sia una misura indiretta è evidente.

Un altro esempio tratto dal campo topografico, quello che ci aveva costretto a parlare delle misure indirette: la misura delle distanze topografiche coi cannocchiali distanziometrici .

Immaginiamo la famiglia delle distanze topografiche. Possiamo ottenere la ordinazione seriale e quindi la misura di tipo ordinale attraverso la misura diretta dei segmenti definiti come distanze. A questa stessa serializzazione, e quindi alle stesse misure ordinali, si può giungere mediante una diversa operazione e cioè leggendo sulla stadia verticale posta ad un estremo del segmento, attraverso il cannocchiale posto orizzontalmente sull'altro estremo, l'intervallo di stadia (o lunghezza del segmento) compreso fra due tratti del reticolo e moltiplicando il valore ottenuto per una opportuna costante. Per ottenere la lunghezza del segmento compreso fra strumento e stadia, misuro un segmento sulla stadia ed eseguo un calcolo. Anche qui perciò siamo in presenza di una misura indiretta. Possiamo ora risalire da questi pochi dati elementari sul comportamento delle misure indirette a qualche classificazione di tipo generale?

Non è molto difficile cogliere come elemento fondamentale di ogni misura indiretta la presenza di un fenomeno che coinvolge più tipi di grandezze, e che può essere di tipo estremamente semplice oppure assai complesso. Qualunque sia il tipo di misura indiretta sempre essa è fondata su di un fenomeno. Nel caso dell'area del rettangolo si tratta di un fenomeno geometrico che lega la superficie racchiusa dalla figura alla lunghezza dei lati, nel caso della misura indiretta delle distanze è un fenomeno di ottica geometrica che produce l'immagine della stadia sul piano del reticolo rispettando alcune leggi di proporzionalità. Ad ogni misura indiretta corrisponde un particolare fenomeno che la sostiene.

Nella misura della temperatura il fenomeno è la dilatazione termica dei corpi. Nella misura della velocità è il fenomeno del movimento o moto che lega spazio e tempo. Nella misura galvanometrica di una corrente è l'effetto magnetico della corrente che passa in una spira immersa nel campo magnetico esterno. E così via.

Ogni strumento di misura indiretta avrà perciò necessariamente un organo costitutivo preposto alla ineliminabile funzione di generare il fenomeno al momento e nel luogo opportuno. A volte questo fenomeno non è realizzato in un unico organo ma in più organi, anzi, esso si identifica con un procedimento operativo, con uno schema di lavoro. E' questo il caso per esempio dei procedimenti topografici di intersezione di triangolazione, ove il fenomeno è lo schema stesso della figura geometrica e della catena di triangoli.

L'enorme varietà delle misure indirette, siano esse realizzate in un unico complesso strumentale o in uno schema operativo è tale e così evidente a tutti da non abbisognare di alcuna illustrazione. Qualcosa in più va forse detta per l'altro elemento indispensabile in ogni misura indiretta, quell'elemento costituito dall'insieme degli organi, veri e propri strumenti indipendenti, che servono a misurare direttamente le grandezze connesse con il fenomeno e per mezzo delle quali, attraverso il calcolo, si giunge al valore desiderato. La stadia nella misura indiretta delle distanze, la scala graduata posta dietro il capillare del termometro, il settore graduato dietro l'indice del galvanometro, il goniometro ed il basimetro nelle triangolazioni; sono appunto questi organi della misura indiretta che permettono di ottenere la misura della grandezza o delle grandezze per mezzo delle quali, col calcolo, si otterrà la distanza, la temperatura, l'intensità di corrente, le coordinate dei vertici della rete.

Anche qui le modalità con cui tali organi di misura vengono realizzati sono diversissime; dalla complessità delle misure per realizzare una rete trigonometrica alla semplicità della lettura su di un termometro. La complessità o la semplicità non alterano però la struttura logica di una misura indiretta che possiamo riassumere in questa definizione: la posizione seriale di una o più grandezze (posizione seriale cui corrisponde un numero ordinale) è ottenuta mediante il calcolo utilizzando le misure dirette delle grandezze coinvolte, unitamente a quelle da misurare, in un fenomeno appositamente generato e del quale si suppone schematicamente fissato il modo di comportarsi al variare delle grandezze coinvolte.

Utilizzando gli elementi di base fin qui esposti sulla struttura degli strumenti logici di misura, siano essi di tipo diretto od indiretto, è possibile rispondere ad alcuni quesiti che ci vengono sovente alla mente ogniqualvolta ci si presenta un nuovo tipo di strumento; innanzitutto quello della sua classificazione. Ma il discorso si farebbe non tanto difficile quanto piuttosto lungo e noioso. Ugualmente lungo, anche se non sempre noioso, sarebbe addentrarsi in una analisi dei tipi, delle caratteristiche, delle prerogative dei fenomeni e delle loro schematizzazioni matematiche, utilizzabili per le misure indirette.

Salterò tutto questo per avvicinarmi velocemente alla conclusione che si richiama strettamente alla posizione di partenza. *L'operazione del misurare è attività tipicamente umana; essa non è fine a se stessa, ma tramite per l'uomo che vuol lasciare nella natura oggettiva traccia indelebile del suo passaggio. Poiché è operazione umana, essa possiede dell'agire umano tutte le ambiguità; essa è punto di arrivo di una ricerca che mira a scoprire meglio la natura ed è punto di partenza di ogni attività produttrice e realizzatrice, nel concreto, delle idee dell'uomo, ma non sfugge alla labilità dell'arbitrio soggettivo. Ciò che fa tanto superba l'umanità, la conquista del reale e dell'oggettivo, è ottenuta e si basa su criteri così relativi, così poco assoluti che l'averli un poco, anzi pochissimo, rivelati, ci deve convincere ad essere più modesti nel vantare conquiste che han così fragili e insicure fondazioni.*

