

Le scale di misura: un ponte tra mondo empirico e mondo dell'informazione

Luca Mari, Alessandro Ferrero, Dario Petri

Tutto_Misure, 2, 2022

[2.5.22]

Nell'articolo "Il ruolo sociale della cultura metrologica: qualche ipotesi", pubblicato in questa rubrica nel numero scorso di Tutto_Misure, abbiamo sostenuto che "un po' di cultura metrologica sarebbe importante per *tutti* nella nostra società", e abbiamo proposto quelle che riteniamo siano le caratteristiche più importanti della misurazione, che tutti dunque dovrebbero conoscere e saper trattare. Tra queste, la condizione che la misurazione sia "finalizzata a produrre informazione su proprietà empiriche, fornita nella forma di valori di tali proprietà". Questa affermazione assume che l'esperienza umana non si esaurisca nella dimensione empirica, e comprenda anche una componente informazionale, di cui i valori di proprietà, o di grandezze, sono appunto esempi: come se vivessimo contemporaneamente in due mondi – il mondo empirico e il mondo dell'informazione – che sono distinti benché in relazione. Ancora con l'obiettivo di comprendere con quali contenuti la cultura metrologica potrebbe, e forse dovrebbe, contribuire a una vita consapevole e attiva, esploriamo dunque qui ancora un poco il ruolo della misurazione come processo che si realizza tra mondo empirico e mondo dell'informazione.

Per meglio intendere quanto sosterremo in seguito, proponiamo solo un cenno a una questione fondamentale: possiamo dunque dare per scontato che esista non solo il mondo empirico, ma anche un mondo dell'informazione? Nella tradizione filosofica l'idea che, al contrario, esista un solo mondo – una posizione nota come "monismo" – è stata sostenuta variamente, ma c'è almeno una ragione per cui chi si occupa di questioni tecnico-scientifiche, e dunque non solo i metrologi, ci sembra tenda a essere almeno implicitamente non-monista (diciamo, genericamente: pluralista), e ad accettare perciò che esista più che solo il mondo empirico, e in particolare che esista un mondo dell'informazione: le descrizioni pluraliste sono più semplici e comprensibili di quelle moniste. Per esempio, "2+2=4" per un pluralista significa quello che è scritto, mentre un monista è costretto a operare una riduzione, per esempio assumendo che i numeri naturali siano classi di equivalenza per equinumerosità (si dice "numero due" ma si intende la classe di equivalenza di tutti gli insiemi di due elementi) e interpretando la somma come una combinazione di classi di equivalenza. D'altra parte, un'operazione di riduzione di questo genere diventa sempre più complicata al crescere della complessità delle entità informazionali che si vorrebbero descrivere in termini di entità del mondo empirico, e dunque in particolare in accordo alle leggi della fisica. Si provi per esempio a immaginare di dover descrivere in termini di eventi fisici (meccanici, elettrici, termodinamici, chimici, ...) un sistema software e il suo comportamento.

Questa maggiore semplicità e comprensibilità di una posizione pluralista si riflette nel riconoscimento che la nostra cultura è ampiamente caratterizzata da oggetti e processi informazionali, come testi, numeri, e software. Per esempio, consideriamo che parlare (un processo informazionale) sia diverso da trasmettere energia sotto forma di onde di pressione (un processo empirico), e, nonostante il fatto che per parlare dobbiamo trasmettere energia, parliamo per comunicare informazione e non per trasmettere energia.

In quest'ottica, si può effettivamente descrivere la misurazione come un processo con cui si attraversa un ponte tra mondo empirico, a cui i misurandi appartengono, e mondo dell'informazione, a cui i risultati di misura, e in particolare i valori di grandezza, appartengono: è un'immagine semplice e comprensibile, che si fonda su una posizione pluralista. Questa funzione di ponte è una caratteristica importante della metrologia, anche perché ne chiarisce il ruolo rispetto in particolare alla fisica, che si occupa del mondo empirico, e alla matematica, che si occupa del mondo dell'informazione: la metrologia usa, per ragioni diverse e in modi

diversi, la fisica e la matematica, ma non è riducibile né all'una né all'altra proprio perché fa da ponte tra i due mondi.

D'altra parte, questo "attraversare ponti" non è unico della misurazione: hanno la stessa finalità anche attività altrettanto quotidiane come il nominare e il contare, e dunque è utile chiarire prima di tutto in cosa misurare è diverso dal nominare da una parte e dal contare dall'altra.

Ha senso confrontare questi processi – misurare, nominare, contare – perché hanno alcune caratteristiche fondamentali in comune: tutti e tre consentono di attraversare un ponte da mondo empirico a mondo dell'informazione, e tutti e tre assumono che l'entità empirica da cui si parte – la grandezza che viene misurata, l'entità che viene nominata, l'insieme la cui numerosità viene contata – sia stata precedentemente identificata.

Nel caso del *nominare*, il ponte è costruito in modo soprattutto convenzionale: certo, una volta che un nome proprio, come "Tutto_Misure", o un nome comune magari accompagnato da un indicale, come "questa rivista", sono stati concordati, e magari riportati in un dizionario, c'è una consistenza per continuità che si può richiedere, così da facilitare la mutua comprensione. Ma se anche la rivista in cui questo articolo è pubblicato cambiasse nome, le sue caratteristiche potrebbero rimanere le stesse. Non c'è insomma un senso nel cercare il "nome vero" delle cose: nel caso del nominare, il ponte è costruito senza vincoli stringenti, come dimostra la presenza nelle lingue storico-naturali, come l'italiano e l'inglese, di omonimie (una data cosa con nomi diversi) e polisemie (un unico nome per cose diverse).

All'opposto del nominare, non c'è nulla di convenzionale nel *contare* quando l'oggetto del conteggio sia stato identificato: una volta che, per esempio, abbiamo stabilito come identificare una copia cartacea di una rivista su una scrivania, non rimangono convenzioni o arbitrarietà a proposito di quante copie ci siano su quella scrivania. Nel caso del contare, ci troviamo il ponte già costruito (ovviamente stiamo facendo riferimento alla relazione tra cose e numeri, e il fatto che i nomi dei numeri siano parzialmente convenzionali non è rilevante: che si indichi come "due", "two", 2, 10binario, ... si tratta sempre dello stesso numero), dato l'isomorfismo fondamentale tra cardinalità degli insiemi e numeri naturali.

Come il nominare e il contare, anche la misurazione può essere efficacemente interpretata come un processo con cui si attraversa un ponte tra mondo empirico e mondo dell'informazione. Ma se nel caso del nominare il ponte è costruito in modo soprattutto convenzionale e nel caso del contare il ponte è pre-costruito e dunque non ha nulla di convenzionale, cosa possiamo dire del ponte che la misurazione ci consente di attraversare?

Suggeriamo che, almeno nei suoi casi più tipici, la misurazione sia in una posizione intermedia, essendo meno convenzionale del nominare ma più convenzionale del contare. E suggeriamo che il ponte che si attraversa quando si misura sia costituito dalle *scale di misura*, per esempio la scala di tempo International Atomic Time (TAI) e la scala di temperature International Temperature Scale (ITS-90) (prendiamo questi riferimenti dall'attuale edizione della Brochure SI, www.bipm.org/en/publications/si-brochure). Dato il nostro tentativo di chiarire i contenuti di una cultura metrologica che sia proponibile a tutti, un po' di chiarezza sulle scale è dunque davvero importante: anche considerata la confusione che c'è al proposito, a esse dedichiamo il resto di questo articolo.

Per rispondere alla domanda di cosa sono le scale, per esempio TAI e ITS-90, il Vocabolario Internazionale di Metrologia (VIM, www.ceinorme.it/strumenti-online/vim-vocabolario-internazionale-di-metrologia) non è purtroppo di grande aiuto. Le prime due edizioni del VIM definiscono solo il concetto di 'scala di uno strumento', come (per evitare malintesi citiamo i testi inglesi originali) "ordered set of marks, together with any associated numbering, forming part of a displaying device of a measuring instrument" (VIM2, 4.17, analogo a VIM1, 4.19). La terza, attuale edizione del VIM riprende questo concetto, cambiandone solo un poco la definizione in "part of a displaying measuring instrument, consisting of an ordered set of marks together with any associated quantity values" (VIM3, 3.5). Evidentemente, TAI e ITS-90 non sono esempi di scale di strumenti.

Per la prima volta nel VIM3 troviamo una seconda definizione rilevante, quella di ‘quantity-value scale’ (chiamata anche “measurement scale”): “ordered set of quantity values of quantities of a given kind of quantity used in ranking, according to magnitude, quantities of that kind” (VIM3, 1.27). Qui si trova in modo un poco più esplicito l’idea che le scale di misura – e non le scale degli strumenti, dunque – abbiano la funzione di ponte tra mondo empirico e mondo dell’informazione, a cui le grandezze (“quantities”) e i valori di grandezza (“quantity values”) appartengono rispettivamente. Ma notiamo che secondo questa definizione una scala è un insieme di valori di grandezza, essendo un valore di grandezza un “number and reference together expressing magnitude of a quantity” (VIM3, 1.19). Dunque per avere valori di grandezza occorre che un riferimento sia definito. Nel caso di grandezze a intervalli o a rapporti, il riferimento è l’unità, e infatti una scala può essere costruita da un’unità, considerandone anche multipli e sottomultipli. Ma nel caso delle grandezze ordinali, per cui un’unità non è definita, cosa sono “number and reference”?

Prendiamo il caso, noto, delle durezza Mohs: nell’affermazione “la durezza del talco è 1 in scala Mohs”, il numero è ovviamente 1, ma il riferimento? Parrebbe essere la scala stessa, ma allora una scala non può essere un insieme di tali valori, perché altrimenti si genererebbe una circolarità: la scala Mohs come un insieme di valori... in scala Mohs!

Il fatto che, nonostante questo evidente problema, la definizione di ‘quantity-value scale’ del VIM3 sia stata proposta e accettata mostra quanto sia tuttora poco chiaro cosa sia una scala e che ruolo le scale abbiano. Cos’è una scala di misura, dunque?

Ancora in riferimento alla scala di durezza Mohs, per definirla / costruirla è plausibile che si operò dapprima identificando un criterio empirico di confronto tra grandezze (se il minerale X scalfisce il minerale Y, la durezza di X è maggiore della durezza di Y), e su questa base si scelsero dei minerali campione (il talco, il gesso, ecc) e si associarono le loro durezza a degli identificatori ordinali in modo da conservare l’ordine nell’associazione (se la durezza del minerale X è maggiore della durezza del minerale Y, allora l’identificatore associato a X deve essere maggiore dell’identificatore associato a Y). Che poi gli identificatori scelti siano proprio numeri non è così importante: invece di 1 per il talco, 2 per il gesso, ecc potrebbe andare bene anche per esempio A per il talco, B per il gesso, ecc, pur di aver chiarito che A, B, ecc sono identificatori ordinali, e quindi che $A < B$ ecc. Va poi enfatizzato che i valori della scala (1, 2, ..., oppure A, B, ...) non sono durezza, ma identificatori per durezza.

Insomma, ne concludiamo che una scala è una funzione da grandezze empiriche scelte come riferimenti a entità di informazione scelte come identificatori per tali grandezze sotto la condizione che le relazioni osservate tra grandezze empiriche siano conservate tra identificatori (notiamo che questa è la posizione delle teorie rappresentazionali della misurazione, al cui fondamento ci sono morfismi tra grandezze empiriche da misurare ed entità di informazione con cui le grandezze stesse sono rappresentate, e chiamano appunto “scale” tali morfismi).

Nel nostro esempio, la funzione che è la scala si costruisce in forma estensionale, con l’elenco

$$\begin{aligned} \text{scala_Mohs}(\text{durezza}_{\text{talco}}) &=_{\text{def}} 1 \\ \text{scala_Mohs}(\text{durezza}_{\text{gesso}}) &=_{\text{def}} 2 \\ &\text{ecc} \end{aligned}$$

Con ciò, possiamo rendere più specifica la nostra immagine, a proposito di ponti tra mondo empirico e mondo dell’informazione:

- prima di tutto un ponte va costruito, e questo corrisponde a costruire una scala scala_S definendo una funzione da grandezze di riferimento G_i^{rif} a identificatori j ; questa funzione è sottoposta al vincolo di conservazione delle relazioni, ma non ha senso, in fase di costruzione della scala, porsi problemi di verità; per esempio, la durezza del talco in scala Mohs è 1 per definizione, appunto;
- una volta costruito, il ponte può essere percorso dal mondo empirico al mondo dell’informazione, ed è quello che accade quando si misura, per esempio scoprendo che un certo minerale X ha una durezza che in

scala Mohs è identificata come 1, $scala_Mohs(durezza_X) = 1$; questa relazione non è più convenzionale, ma è vera, se X ha la stessa durezza del talco, o falsa, altrimenti;

– il ponte può essere anche percorso in senso inverso, dal mondo dell'informazione al mondo empirico: se per esempio per due minerali X e Y vale la relazione informazionale che $scala_Mohs(durezza_X) < scala_Mohs(durezza_Y)$ da questa si può inferire la relazione empirica $durezza_X < durezza_Y$ pur non avendo mai confrontato direttamente X e Y rispetto alle loro durezze.

Dopo che il ponte è stato costruito (cioè, fuori dalla metafora, dopo che la scala è stata definita), un'informazione come

$$scala_Mohs(durezza_X) = 1$$

può essere espressa non più solo in forma funzionale ma anche come un'equazione

$$durezza_X = 1 \text{ in scala Mohs}$$

in cui il termine di destra non è più dunque un generico identificatore ma un valore di grandezza (un valore di durezza, in questo caso), e l'equazione significa quanto letteralmente dichiara, che la durezza di X è uguale a ogni durezza identificata nella scala Mohs dall'identificatore 1 (e non solo che la durezza di X è rappresentata dall'identificatore 1 nella scala Mohs, come invece usualmente interpretato nel contesto delle teorie rappresentazionali, che con ciò si dimostrano più propriamente teorie della costruzione di scale che teorie della misurazione).

Si chiarisce con ciò che i valori di grandezza sono astrazioni informazionali delle grandezze empiriche (dunque le si potrebbe chiamare, in breve, "grandezze astratte"), e cominciano a esistere come effetto della costruzione di una scala.

Il passaggio da grandezze ordinali a grandezze a intervalli e poi a grandezze a rapporti non modifica nulla di questa struttura, e consente solo di costruire le scale in modo più efficiente di un elenco. Per esempio, la scala di temperature Celsius fu costruita scegliendo due temperature di riferimento – quelle dei cambiamenti di stato dell'acqua, da solido a liquido e da liquido a gassoso per un dato valore di pressione – assegnando loro gli identificatori 0 e 100 rispettivamente

$$scala_Celsius(temperatura_{solido \rightarrow liquido}) =_{def} 0$$

$$scala_Celsius(temperatura_{liquido \rightarrow gassoso}) =_{def} 100$$

e quindi ottenendo altre temperature di riferimento per uguaglianza di differenza, per esempio la temperatura $temperatura_X$ tale che $(temperatura_{100} - temperatura_X) = (temperatura_X - temperatura_0)$, e assegnando a esse gli identificatori in modo da conservare l'informazione, per esempio

$$scala_Celsius(temperatura_X) =_{def} (0 + 100) / 2$$

Ancora più semplice è il caso delle scale delle grandezze additive, per esempio la massa, per cui esiste una massa zero naturale e dunque è sufficiente scegliere una sola massa di riferimento, tipicamente associata all'identificatore 1 e quindi considerata l'unità,

$$scala_kilogrammo(massa_{kilogrammo_campione}) =_{def} 1$$

con le altre masse di riferimento ottenute per iterazione, per esempio

$$scala_kilogrammo(massa_{kilogrammo_campione} + massa_{kilogrammo_campione}) =_{def} 2$$

e così via.

Per concludere queste brevi considerazioni, riteniamo dunque che in un *programma di cultura metrologica per tutti* una parte importante dovrebbe essere dedicata alla relazione tra mondo empirico a mondo dell'informazione, fondata sulle scale di misura – di cui le unità di misura sono casi particolari – e realizzata misurando in accordo a tali scale. La metrologia ci ricorda che questa relazione tra mondi è tutt'altro che ovvia, e che anzi merita di essere conosciuta con attenzione. Non ne abbiamo scritto in dettaglio qui, ma sappiamo che la strategia adottata dalla metrologia per garantire la qualità di questa relazione è di (1) identificare nel mondo empirico una proprietà empirica (la durezza, la massa, ...) di interesse, (2) realizzare in condizioni controllate ("in laboratorio") la prima istanza di tale relazione costruendo la scala attraverso l'identificazione di proprietà di riferimento che siano stabili e riproducibili, (3) ripetere fedelmente tale

realizzazione in altri laboratori, disseminando così la scala e tarando gli strumenti in conseguenza, e infine
(4) applicando la scala ogni volta che si misura con strumenti tarati.
A questa strategia potremo dedicare qualche prossimo articolo.