

Incontro numero 05

DAL NUMERO ALL'OSSERVAZIONE: CHE COSA E'/SONO LA FISICA/LE SCIENZE SPERIMENTALI?

Nel descrivere il <<mondo dei numeri>> abbiamo cercato di mettere in luce il meccanismo psicologico che induce l'Uomo a sviluppare nuove teorie:

<<il bisogno di libertà che abbiamo per i nostri pensieri>>

ed il collegamento che esiste fra le capacità logiche e di astrazione del pensiero umano ed i suoi "bisogni psicologici" di superare gli ostacoli, generalizzando i concetti fino a quel momento elaborati.

Un Poeta ha il diritto di parlare dei suoi sogni, perché un Matematico no?

Ma, viene il momento in cui tutti noi siamo costretti a confrontarci con il mondo che ci circonda.

Ed in questo mondo abbiamo bisogno di fare delle previsioni su <<cosa accadrà se faccio questo>>?

Costruisco una capanna, un ponte, un riparo qualsiasi: starà in piedi oppure no?

Cosa hanno fatto i nostri predecessori?

Si sono guardati attorno, e si sono costruiti dei modelli descrittivi "*di ciò che vedevano*".

Abbiamo così **la visione geocentrica del mondo**.

Nomi illustri: Platone (428 – 348 a.C.) ; Eudosso di Cnido (408 – 355 a.C.) ; Aristotele (384 – 322 a.C.) ; Tolomeo (100 – 175 d.C.).

Dati i limiti umani del fenomeno della visione, noi, esseri umani, abbiamo "*inventato*" le sfere di cristallo, delle quali – ovviamente - era la Terra a rappresentare il centro comune, e sulle quali erano incastonate le stelle fisse.

Logica conseguenza: abbiamo messo l'Uomo al centro dell'Universo, commettendo – forse – un piccolissimo peccato di presunzione.

Ma c'è stato anche chi ha dubitato di questa descrizione, ed ha parlato di **eliocentrismo**:

Nicolò Copernico (1473 – 1543) ; Tycho Brahe (1546 – 1601) ; Galileo Galilei (1564 -1642) ; Giovanni Keplero (1571 – 1630).

La scelta di una o dell'altra interpretazione del mondo non era – allora - affatto indolore.

Venivano toccati i nervi scoperti del potere, che potevano fare anche molto male.

Ma non è di questo che ci vogliamo occupare.

Ciò di cui vogliamo parlare ha inizio con Galileo, che rifiuta le prese di posizione condizionate dalle filosofie del momento e fonda le sue descrizioni sulle osservazioni.

Cioè: **l'unica fonte di vera informazione è l'osservazione**.

Ma “*osservare*” significa:

- “*misurare*”, e quindi:
- “*cercare di interpretare i risultati ottenuti ricorrendo al Linguaggio Principe della Natura: la Matematica*”.

Ci sono, è vero, delle difficoltà da superare.

<<*Misurare*>> significa leggere un numero su uno strumento, <<*nel rispetto di certe regole*>>, al fine di rendere tale numero “*attendibile*” e “*confrontabile*” con altre misure fatte in altri luoghi, da altre persone, con altri strumenti ed in altri momenti.

Non è possibile – a questo punto - evitare di proporre un esempio significativo.

Se, di notte, in Ospedale, viene ricoverato un paziente grave, al momento del ricovero vengono fatte tutte le prove necessarie.

La mattina dopo si ripetono le prove, e si nota un miglioramento.

Ma, domanda molto importante, con la quale gli addetti si devono misurare:

<<la variazione osservata nel paziente è realmente dovuta alla sua reazione positiva alle cure prestate, o è dovuta al fatto che – nel rifare le prove – è cambiato sia lo strumento usato che il personale che ha eseguito le prove?>>

Ma misurare significa anche *commettere errori*.

È allora necessario elaborare una <<*Teoria degli Errori*>>, capace di gestire questo inevitabile disturbo nel modo migliore possibile.

Le osservazioni sono – inoltre - sempre in numero limitato.

Da esse, con un metodo chiamato <<*di induzione*>>, si passa dall’Osservazione alla Teoria, cioè da quanto osservato ad un Modello Teorico, gestibile con la Matematica, capace in seguito di farmi fare , con un metodo chiamato <<*di deduzione*>>, delle Previsioni Numeriche.

Ma il valore di queste previsioni non è gran che se queste non sono <<*messe a confronto*>> e <<*validate*>> da altre osservazioni successive:

se le previsioni si adattano ragionevolmente alle nuove osservazioni, il modello funziona, è attendibile, altrimenti no.

In caso di conclusione negativa, verrà detto che il limite di validità del modello stesso è stato raggiunto/superato, per cui si dovranno attivare altre misure per poter costruire altri modelli, la cui validità sia più ampia del modello precedente.

Prima di continuare, cerchiamo di rispondere alla domanda:

<<*quali sono le caratteristiche fondamentali che distinguono la Matematica dalla Fisica (e da tutte le altre Scienze Applicate)?>>*

La prima differenza che viene in mente è che:

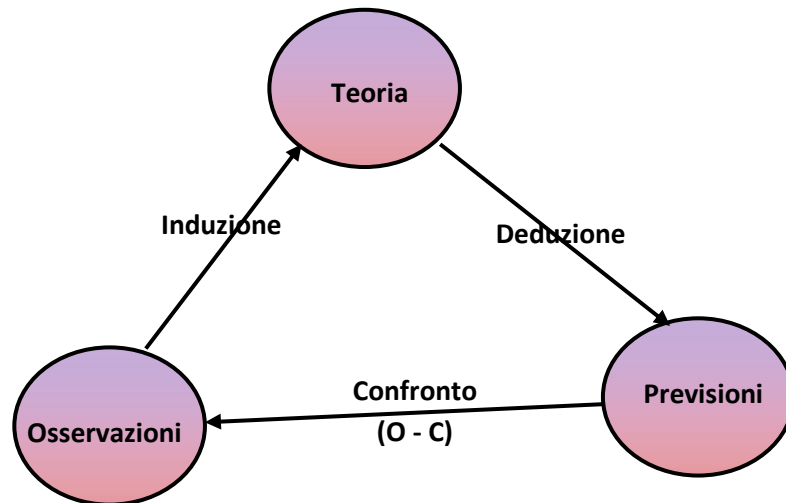
- In Matematica, tutte le nuove conoscenze sono state sempre “*aggiunte*” alle conoscenze precedenti: non conosco – infatti - alcuna teoria matematica che abbia negato un’altra e l’abbia sostituita.

- in Fisica, invece, l'evoluzione di una teoria porta ad identificare i limiti di validità di un dato modello, e, superando tali limiti, impone la ricerca e l'uso di modelli alternativi. Non è infatti una offesa per nessuno il dire che la Relatività ha sostituito – dove di competenza – la Meccanica di Newton.

La seconda differenza è fornita dal metodo di controllo della correttezza e dell'efficienza di una teoria:

- in Matematica il fattore dirimente è la Logica seguita nei ragionamenti;
- in Fisica c'è invece sempre l'esperimento, che decide sulla validità o meno del modello considerato.

Ed è in questa seconda differenza che troviamo la diversità di metodo fra i due campi di indagine. Per la Fisica, e per tutte le altre Scienze Applicate, vale il Triangolo della Conoscenza:



Dalle Osservazioni – **per induzione** - si passa alla Teoria, al Modello Descrittivo, per poi ottenere - **per deduzione** – le Previsioni, che – a loro volta – devono venire **confrontate** criticamente con altre Osservazioni, in un ciclo senza fine.

Il lato più delicato è il lato del Confronto: **$(O - C) = (\text{Osservati} - \text{Calcolati})$** , cioè il lato che definisce l'efficacia o meno di una Teoria nel fare delle previsioni.

È un lato critico per una Teoria Scientifica, ma che coinvolge anche la Vita Quotidiana.

Ci sono – infatti – dei casi in cui una persona cessa di mettersi in gioco, e rimane ancorata sulle proprie convinzioni/abitudini/pre-concetti.

L'effetto finale può essere descritto solo con un nome: **crystallizzazione**.

In presenza di un tale fenomeno - in un mondo che cambia - nulla va più bene, le capacità di adattamento diventano sempre più inadeguate e le conseguenze sono tutt'altro che piacevoli.

La situazione può arrivare a diventare anche patologica.

Comunque, nessuno può ritenersi *"indenne"* da questo tipo di problema.

Chi può onestamente negare di non avere avuto mai delle resistenze, non volute, p.es. nel cambiare il telefonino? È bene prenderne atto.

È un altro dei tanti limiti che ci accompagnano lungo tutto il percorso della nostra Vita.

Iniziamo con l'andare a vedere un po' più da vicino **L'OPERAZIONE DEL MISURARE**.

Primo problema: cosa vuol dire <<misurare>>?

Nel sollevare dei pesi io "sento" che a volte faccio più fatica ed a volte meno. Posso allora mettere in scala gli oggetti che sollevo, in funzione della fatica che faccio. Ma, dato che il senso di fatica può cambiare da persona a persona, o anche per la stessa persona, in dipendenza delle condizioni in cui si trova il suo fisico, conviene preparare una bilancia, e leggere il numero che la bilancia indicherà.

Ovviamente, bisognerà mettersi d'accordo se vogliamo costruire più bilance, e non vogliamo vivere in un clima di lite perenne.

Abbiamo "oggettivato" la misura.

C'è però da osservare che:

- se io capisco che una fabbrica C può consumare energia elettrica pari ai 2/3 della fabbrica A più i 4/5 della fabbrica B,
- io non capisco chi dovesse dirmi che oggi ama la fidanzata C di un amore pari ai 2/3 dell'amore che ha avuto per la fidanzata A più i 4/5 dell'amore che ha avuto per la fidanzata B.

cioè: **esistono delle idee/degli atti del mio pensiero che sono misurabili ed altri no.**

Parleremo allora di "enti" per indicare **gli atti del mio pensiero**,

e parleremo di "grandezze" per indicare quegli enti che si rivelano essere misurabili, il che equivale a dire quando:

- **è stato possibile identificare una unità di misura**, della stessa natura della grandezza data
- **è stato possibile identificare un procedimento** per dire quante unità di misura stanno nella grandezza data.

Secondo problema: unità di misura

Abbiamo cominciato con il parlare dei pesi che io mi trovo a voler spostare

.... e sulla sensazione di fatica che provo nello spostare questi pesi

.... e sulla opportunità di costruire una bilancia per rendere "oggettivo" il concetto di peso di un oggetto.

Ebbene:

visto che la descrizione del mondo che mi circonda avviene per mezzo di aggettivi, che mi servono per descriverlo,

e

visto che questi aggettivi mi vengono suggeriti dal contatto che ho con il mondo esterno,

e

con l'interpretazione che il mio cervello dà in risposta ai messaggi che i 5 sensi gli inviano durante questo contatto,

e

visto ancora che appare decisamente opportuno “oggettivare” le sensazioni umane, per costruire modelli efficaci del mondo fisico che mi circonda,

non rimane che ricorrere a:

- 1) una scelta di campioni di riferimento, con i quali confrontare gli elementi di cui dispongo
- 2) la scelta/la progettazione di strumenti che mi permettano di dire quante volte sta il campione nell’oggetto che sto esaminando
- 3) la definizione delle modalità da rispettare affinché i numeri che si ottengono dalle misure così effettuate siano attendibili.

Il quadro degli eventi che ci circonda è – tuttavia - tanto complesso da richiedere, come condizione critica, di mettere un po’ d’ordine nella descrizione del mondo.

Per fare questo, ci troviamo a fare una distinzione fra:

unità di misura fondamentali

lunghezza: metro

- { ieri: 40-milionesima parte del meridiano terrestre
- { oggi: tragitto percorso dalla luce nel vuoto nel tempo di (1/299.792.458) secondi.

massa: Kilogrammo

massa del campione di platino-iridio conservato nel Museo Internazionale di Pesi e Misure di Sèvres (Parigi)

Non va taciuto il fatto che recentemente si è posto il problema della invariabilità – nel tempo – della massa di questo campione. Anche per esso va auspicata una definizione correlata con i principi fondamentali della Fisica, validi dappertutto e non solo sulla Terra.

tempo: secondo

- { ieri: 86400-ma parte del giorno solare medio
- { oggi: durata di 9.192.631.770 periodi della radiazione corrispondente alla transizione tra i livelli iperfini dello stato fondamentale dell’atomo di Cesio 133.

angolo: radianti

rapporto fra lunghezza di un arco di circonferenza ed il suo raggio. Risulta essere un <<numero puro>>, ma in realtà è solo indipendente da come vengono misurati arco e raggio.

angolo solido: steradiano

rapporto fra area di una parte di una superficie sferica ed il quadrato del suo raggio. Risulta essere un <<numero puro>>, ma in realtà è solo indipendente da come vengono misurati area sulla sfera a e raggio.

intensità di corrente: ampère

quantità di corrente, che scorre all'interno di due fili di lunghezza infinita e sezione trascurabile, immersi nel vuoto ad una distanza di 1 metro, che induce una forza di attrazione o repulsione uguale a $2 \cdot 10^{-7}$ N per ogni metro di lunghezza.

intensità luminosa: candela

intensità luminosa di una sorgente che emette una radiazione monocromatica con frequenza $540 \cdot 10^{12}$ Hz ed una intensità energetica di $(1/683)$ W/sr

temperatura termodinamica: kelvin

valore corrispondente a $1/273,16$ della temperatura termodinamica del punto triplo dell'acqua

unità di misura derivate

tutte le altre, che si incontrano man mano che si sviluppano i concetti.

Sono espresse in termini di combinazione delle unità fondamentali.

P.es. la velocità è esprimibile per mezzo della *strada percorsa* e del *tempo impiegato a percorrerla*, e viene misurata in m/sec.

A questo punto intervengono gli strumenti e le procedure per usarli correttamente.

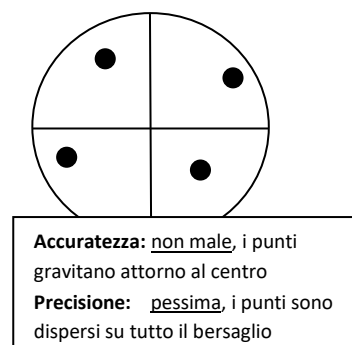
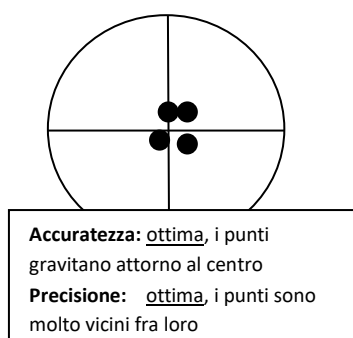
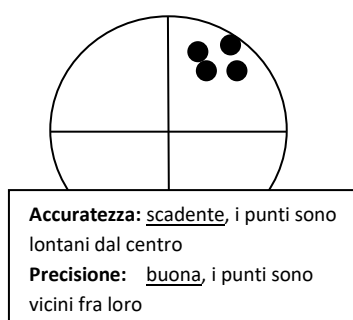
Li troveremo più avanti.

Terzo problema: accuratezza e precisione.

Per parlare di questo conviene "*andare alle Olimpiadi*", dove fanno le gare di tiro a segno con il fucile o con la pistola.

Il problema è sparare il più vicino possibile al bersaglio.

Ammessa a priori la capacità degli atleti in gioco, si possono realizzare delle situazioni particolari, che cercheremo di illustrare con delle figure:



Cioè, i due concetti, spesso confusi fra loro, di accuratezza e di precisione, dicono due cose differenti:

l'accuratezza dice che le misure che si stanno facendo sono "prossime" al "vero valore" che si cerca di misurare.

la precisione dice invece che le misure sono "fatte con cura", e quindi sono prossime le una alle altre.

Avremo occasione di parlarne.

Quarto problema: *Teoria degli errori.*

Purtroppo quando si fa una misura si fanno anche degli errori.

Per quanta cura si mette nel misurare, rifacendo la stessa misura si ottengono risultati differenti.

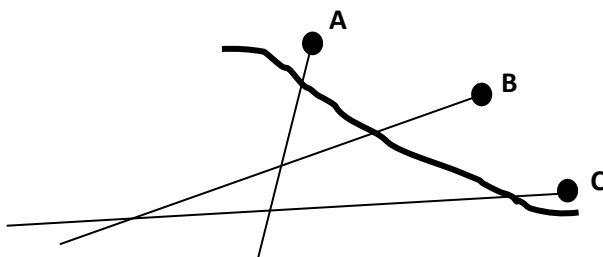
Ovviamente tutto dipende dalla precisione con cui si opera:

- se si pesa un quintale di patate, patata in più o in meno non cambia nulla,
- ma facendo un medicinale contenente arsenico, qui un milligrammo ha importanza.

Per quanto riguarda ciò che si fa su una nave, si osservano gli oggetti della costa.

Poi si riporta sulla carta nautica la direzione osservata [si tracciano, cioè, *i rilevamenti*] e si determina la posizione dove si trova la nave in quel momento.

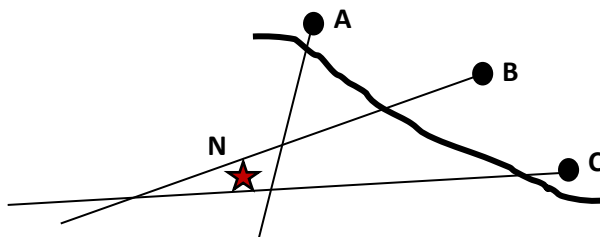
Ma, se di rilevamenti ne faccio 3, questi in genere formano un triangolo, *che devo interpretare.*



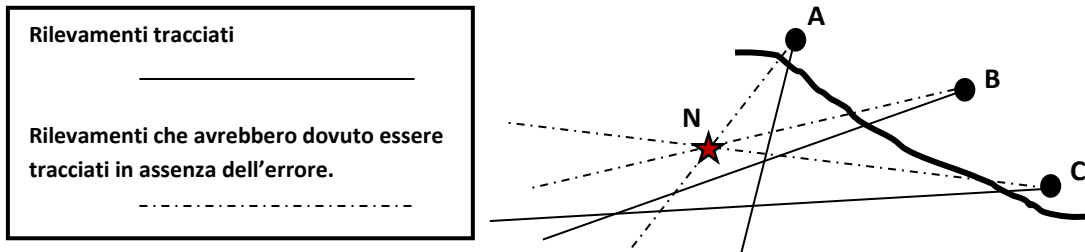
Sulla base di quali considerazioni?

Vediamo: se le osservazioni sono fatte con nave che rolla e beccheggia a causa dello stato del mare, ed il vento ha tormentato gli occhi di chi ha fatto le letture, è altamente probabile che nel fare le letture la probabilità di fare un errore in eccesso o in difetto rispetto al valore "esatto" sia praticamente la stessa.

Il punto-nave più probabile N sarebbe allora il centro del triangolino.



Ma, se la giornata è tranquilla, la visibilità è ottima ed il vento non dà fastidio, ma “qualcuno” ha depositato del ferro nei pressi della bussola magnetica, è ragionevole pensare che la bussola sia ruotata di una certa quantità, dando luogo alla situazione che segue:



Il punto-nave cade cioè “fuori” dal triangolino.

Gli esempi ora dati mostrano una realtà: gli errori possono essere almeno di due tipi. Il primo prende il nome di **errore accidentale**, ed ha la caratteristica di avere uguale probabilità di essere sia positivo che negativo, con probabilità generalmente decrescente all’aumentare del suo valore.

Occorre precisare che su questo tipo di errore è stata elaborata tutta una teoria statistico-matematica?

La presenza di un tale errore viene evidenziata facendo un numero sovrabbondante di misure.

Queste danno luogo ad una “nube” di risultati, dai quali si fa di solito la media aritmetica per ottenere il valore più probabile.

Il secondo prende il nome di **errore sistematico**, ed ha la caratteristica di nascondersi molto bene.

Infatti, ripetendo le misure, lui si riproduce come prima, per cui non viene rilevato.

Comunque “*si sa*” che esiste, ed ogni ramo scientifico ha delle tecniche per sterilizzare questo tipo di errori.

Rimane un’altra fonte di errori: **la natura umana**.

Restiamo sull’esempio della nave.

Durante la guardia, l’Ufficiale esce sull’aletta di plancia, legge un rilevamento e se lo scrive, poi ne legge un secondo, e fa altrettanto, e così via.

Data la stanchezza delle ore di servizio e la fretta di fare presto e bene le osservazioni, pensate che – *soprattutto in condizioni di stress ambientale* - sia del tutto impossibile che l’Ufficiale legga il numero 145 sulla bussola e si scriva sul foglio di carta il numero: 154? Ovviamente non accade frequentemente, ma può accadere.

Questo tipo di errore non segue regole, se non quella di essere bruscamente “*fuori dal coro*” di tutte le osservazioni fatte fino a quel momento.

Prende il nome di “**fault**”, erroraccio imprevedibile, di cui bisogna tenere conto.

Da qui una precauzione:

tenere la situazione ed il suo sviluppo sotto controllo, in modo da accorgersi di ogni brusca variazione, che potrebbe essere indice di

- un evento imprevisto, che si è verificato inaspettatamente
- un **errore di lettura: *fault***,
- un **errore di manovra**, che potrebbe anche avere conseguenze catastrofiche.

La traduzione nella vita di ogni giorno è immediata.

Quinto problema: *Procedura e strumenti per le osservazioni.*

Come al solito, parleremo per esempi.

Prendiamo p.es. in considerazione il fenomeno del vento.

Vivendo a Trieste il problema è ben noto.

La bora ci insegna che la polvere e le immondizie abbandonate (*troppo spesso*) per terra descrivono dei moti circolari, dovuti ai moti vorticosi dell'aria, come ci insegna anche che girando l'angolo di una casa il vento può apparire bruscamente più o meno impetuoso.

Non solo, ma in occasione del restringimento di una via, la velocità del vento aumenta bruscamente.

In queste condizioni, cosa significa "*misurare il vento*"?

Basta spostarsi di poco ed il vento osservato risulta essere del tutto differente.

Per rispondere a questa domanda l'Organizzazione Meteorologica Mondiale prevede che **le misure siano fatte in aree aperte, su terreno pianeggiante, a 10 metri di altezza dal terreno.**

Se ci si trova nella impossibilità di soddisfare questi requisiti, sono state studiate anche delle correzioni da apportare alle misure per rendere i valori ottenuti confrontabili con le altre osservazioni.

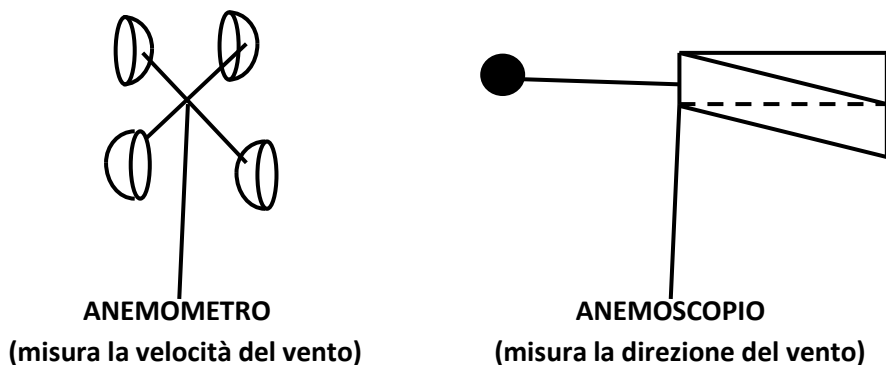
Va detto che – del vento – è necessario dare due parametri:

- 1) **la velocità**: espressa in m/sec o in nodi: miglia nautiche all'ora.
- 2) **la direzione**: espressa in gradi, indicanti <<**la direzione da cui proviene**>>.

Anche le correnti marine richiedono gli stessi elementi per essere identificate, ma per esse si dà <<**la direzione verso cui si dirigono**>>, e questo in omaggio a quello che veniva fatto una volta sui velieri per individuarne la direzione:

- **per il vento**, si dirigeva la faccia in direzione da dove questo proveniva
- **per la corrente**, si guardava – buttando un galleggiante in mare – verso dove questo si spostava.

Due parametri da misurare? Due strumenti da utilizzare.



Disponendo di questi strumenti su una nave è evidente che è possibile definire il vento.

Quanto detto è vero oppure no?

Per scopi di bordo può anche essere vero: quello che si misura può aiutare a trarre delle conclusioni "locali", ma i numeri ricavati da questi strumenti non possono essere utilizzati per compilare p.es. un bollettino meteorologico da inviare agli Uffici di terra.

Tali strumenti, portati a bordo, non sono – con certezza – esenti dall'influenza dei vortici provocati dalle sovrastrutture della nave stessa, ed altrettanto certamente non sono posti a 10 m dal livello del mare.

Cioè: i numeri forniti da questi strumenti non sono "attendibili", non sono cioè confrontabili con quelli installati presso le Stazioni Meteorologiche.

Il problema è stato risolto dall'Amm. Francis Beaufort (1774 - 1857), nel 1805.

Rispettando la condizione di essere in mare aperto, lontano dalle coste e con mare completamente sviluppato, l'Amm. Beaufort ha trovato una correlazione fra lo stato del mare e la forza del vento.

Ha così stabilito una scala di inizialmente 12 gradi di intensità, portati più tardi a 17 gradi per poter includere la forza degli uragani, dalla quale è possibile risalire ad un intervallo di vento confrontabile con le misure fatte a norma.

Questa scala ha avuto il riconoscimento ufficiale il 1° gennaio 1949.

Un grado della scala di Beaufort corrisponde alla velocità media di un vento di 10 minuti di durata.

Esistono delle foto ufficiali dello stato del mare che permettono di valutare la forza del vento in Gradi di Beaufort.

Oggi sono state proposte ed accettate delle varianti della Scala di Beaufort utilizzabili anche a terra per la stima del vento in funzione degli effetti che questo produce, ma di queste variazioni e di questi tentativi di generalizzazione non ce ne stiamo occupando.

E con questo finiamo questo incontro, in previsione di andare a vedere i risultati e – finalmente - le applicazioni della Fisica.