Carlo Demichelis

Nòte 'd n'arsercador an pension, da pijé coma material diletantistich

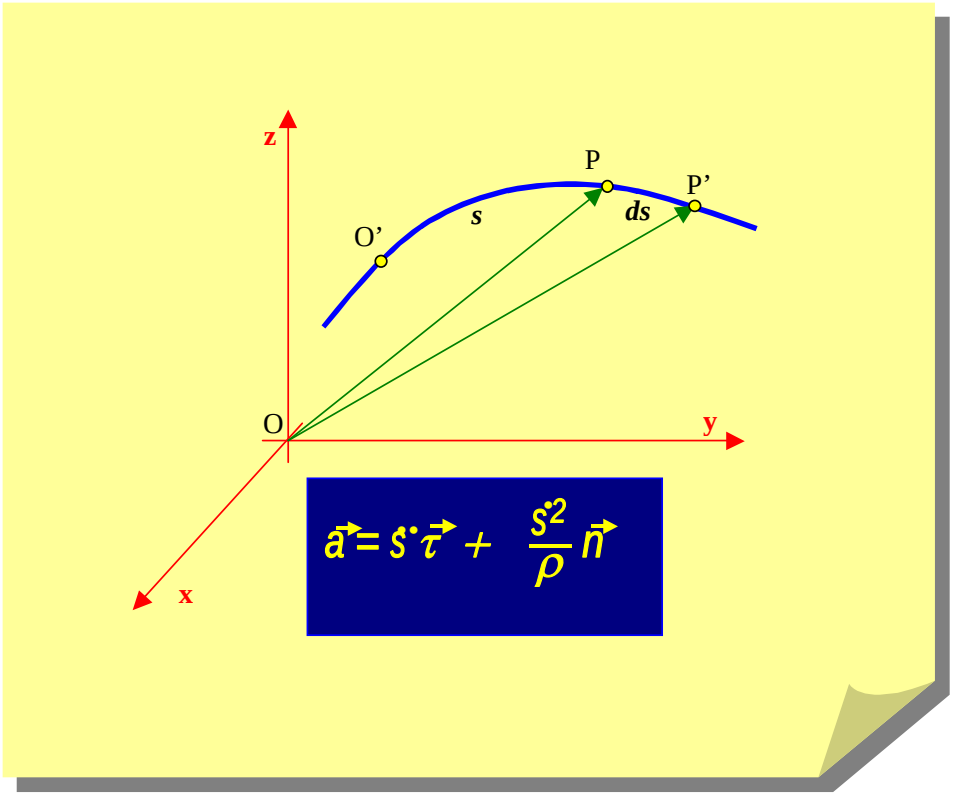
socià al pòst "web" amatorial http://digilander.libero.it/dotor43

Fìsica Sperimental

Mecànica

Prima session

La mecànica dël pont e dij còrp rèid



Pàgina lassà veuida apòsta

Presentassion e avertense për la letura

Coste nòte ëd Fìsica Sperimental a peulo esse considerà coma un arpass dij concét pì amportant ëd lòn che as ëstùdia ant ij prim doi ani a l'Università (Fìsica Sperimentàl 1 e Mecànica Rassional), un pòch semplificà e sensa la pretèisa ëd rivé a tuti j'argoment dla matéria, che daspërchila a sarìa motobin pì complicà. Beleché l'autor a sia un fìsich e a l'abia fàit l'arsercador tuta soa vita ëd travaj, vist che a l'é mai stàit sò mesté ël mostré a l'Università, tut ël material arportà ambelessì a venta che a sia pijà coma **diletantistich**.

An efét ste nòte a son socià al pòst "web" (an italian a-j diso "sito") amatorial, e pròpi mach amatorial http://digilander.libero.it/dotor43 ëd l'autor (vis-a-di: mi).

Ant l'ëspìrit dël pòst dit, a-i é la bon-a volontà d'ëscrive na còsa seria e rigorosa, e d'ëscrivla an Piemontèis, përchè costa prima ëd tut a l'é mia lenga e a l'é la lenga che i l'hai dovrà cand i podìa, travajand për pì ëd quarant'ani an camp sientifich. Peui, pròpi a rason dël fàit che an camp sientifich i l'hai dovrala e i son trovame pì che bin[1], ste nòte a preuvo a mostré che, coma tute j'àutre lenghe, ël Piemontèis a và pròpi bin për dì pròpi tut, e as gena nen ëd Newton, Cavendish, Rutherford, Maxwell e via fòrt.

[1] Beleché peui j'arzultà dj'ëstudi a dovìo esse voltà an Inglèis (motobin pì da ràir an Italian, almanch ant ël cas ëd mè travaj, fàit pì an girola për ël mond che an Turin).

TÀULA GENERAL DLE PART

Part 1: Grandësse e Misure – Sistema ëd misura.

Ël but dla Fìsica Sperimental a l'é col ëd dëscrive ij fenòmeno an termo quantitativ. Për fé sòn a definiss grandësse fisiche con soe unità ëd misura. Coste a venta che a sio coerente e bin ciàire, e për sòn a ven definì un Sistema ëd misura. La definission ëd na grandëssa a supon ëdcò la definission ëd na manera ëd misuréla. J'eror ëd misura a l'han bin d'amportansa e a venta sempe ch'a sio valutà. A-i é nen un lìmit a la precision che as serca d'oten-e ant le misure.

Part 2: La Cinemàtica dël pont e dij Sistema rèid.

Ant ësta part a ven studià la relassion tra spassi e temp ant un moviment qualonque. As considera nen la rason dël moviment ma as dëscriv ël moviment daspërchièl. Prima as considera un pont astrat (geometrich) che as bogia, peui as considera ël moviment d'un sistema rèid ëd pont. Ij concét ch'as antroduvo a son coj ëd velocità, velocità angolar, acelerassion.

Part 3: Massa e Fòrse, introdussion a la Stàtica – Camp ëd fòrse, introdussion a la Dinàmica.

Massa e Fòrsa a l'han un problema filosòfich ëd definission. A peulo mach esse definìe travers sò efet, e parej a l'han da manca l'un-a ëd l'àutra. As parla ëd massa gravitassional e massa inersial. As vëddo ij divers tipo ëd fòrsa e as definisso ël Moment ëd na fòrsa e la Cobia ëd fòrse. Stì concét a son tra l'àutr a la base dla Stàtica, che a stùdia l'echilibri dle fòrse e dij moment, e dont as dà quàich base (as vëddrà ant ij particolar dòp). As parla ëd Barisenter e Moment d'Inersia a propòsit ëd Geometrìa dle masse. As considero ij camp ëd fòrse e l'Energia potensial, intrand ant ël camp ëd la Dinàmica.

Part 4: La Dinàmica dël pont material e dij Còrp sòlid.

La Dinàmica a studia la rason dël moviment. Sta part a l'é sentrà an sle relassion tra Fòrse, Masse e Moment. As definiss la Quantità ëd moviment e sò moment, ël Travaj e l'Energia ëd moviment (cinética). As vëdd coma a fonsion-a ël Moment d'Inersia. As ëstabilisso le relassion tra energia potensial e cinetica e as definiss la Potensa. Sòn, prima për un pont material e peui për un còrp.

Part 5: La strutura dla materia – Le fòrse elastiche e l'Urt.

Na cita idèja ëd coma a l'é fàita la materia a livél microscòpich, an manera d'avèj ciàir da andova a ven-o le fòrse elastiche e le proprietà elastiche dij còrp. Sòn a vnirà a taj peui ëdcò për la Stàtica. As distinguo le carateristiche d'un sòlid, d'un liquid, d'un gas. As vëddo le proprietà mecaniche d'un còrp sòlid e lòn che a soced cand doi còrp as urto tra ëd lor.

Part 6: La Stàtica.

La composission dle fòrse e dij moment, soa arzultant e le condission d'echilibri a ven-o viste prima an manera astrata e peui për ij còrp reaj. As vëdd quaicòs an sij vìncoj e le reassion vincolar e quaicòs dij Travaj Virtuaj. Ël prinsipi ëd d'Alembert.

Part 7: Le vibrassion.

Motobin amportant an natura a son ij moviment vibratòri e soe composission, che a ven-o analisà. As vëdd ëdcò l'arsonansa ant le ossilassion forsà, e quaicòs dla propagassion d'energia mecanica travers le onde ant ij còrp.

Part 8: Vers la mecanica analitica.

A parte da la formulassion Newtonian-a che i l'oma vist, ëdcò ciamà mecanica vetorial, travers ël prinsipi dij travaj virtuaj e ël prinsipi ëd d'Alembert, i acenoma a la formulassion Lagrangian-a, che a l'ha pì nen un carater vetorial. As trata mach dël pont ëd partensa vers la Mecànica Aalìtica e la Fisica Teòrica.

Part 9: N'idèja an sla relatività.

I vardoma giusta da 'ndova a riva la relatività e quaicòs ëd lòn che a ìmplica. I vardoma prima com a l'era la relatività 'd Galileo, e l'invariansa dle lèj ëd Newton an coj che a j'ero considerà ij sistema inersiaj. Peui i vardoma le dificoltà che a l'han portà j'equassion ëd Maxwell che a dëscrivo ij camp eletro-magnétich, e ij temntativ për superé coste dificoltà. I passoma peui a vardé le trasformassion ëd Lorentz e la teorìa dla Relatività strèita ëd Einstein. I vardoma donca còs a compòrta sòn an sle longhësse, an suj temp e an 's le masse. I finima con considerassion su massa e energìa e le corispondente relassion. I tratoma gnente dla relatività general.

Pàgina lassà veuida apòsta

.

Part 1: Grandësse e Misure

Ël but dla Fìsica Sperimental a l'é col ëd dëscrive ij fenòmeno an termo quantitativ. Për fé sòn a definiss grandësse fisiche con soe unità ëd misura. Coste a venta che a sio coerente e bin ciàire, e për sòn a ven definì un Sistema ëd misura. La definission ëd na grandëssa a supon ëdcò la definission ëd na manera ëd misuréla. J'eror ëd misura a l'han bin d'amportansa e a venta sempe ch'a sio valutà. A-i é nen un lìmit a la precision che as serca d'oten-e ant le misure.

TÀULA DLA PRIMA PART

Achit 3
Grandësse Fìsiche e Misure 5
Ël sistema ëd misura 7
Ël Sistema Internassional (S.I.) 7
Mùltipl e sota-mùltipl 9
Paragon con àutri sistema 9
Ël sistema MKS 10
Ël sistema CGS 10
Ël sistema "pràtich" 10
Ël sistema inglèis 10
Àutre misure dovrà 11
Misure, eror e precision 13
Misure direte e andirete 13
N'esempi ëd misura 14
J'eror e soe composission 16
La precision dj'ëstrument 16
Eror sistematich. 16
Eror casuaj (ò Eror assidentaj) 17
Eror assolut e relativ 17
Composission dj'eror 17
Adission e sotrassion ëd misure con un dàit eror assolut. 17
Moltiplicassion e elevassion a potensa ëd misure con un dàit eror assolut 18
Division ëd misure con un dàit eror assolut. 19
La precision – n'àutr esempi 20
Misure ëd valor Casualment variabij 23
Quàich problema 'd misura 25
Arserca dl'aprossimassion pì bon-a 27
Procedure d'esperiment e anàlisi statìstica 31
N'ùltim esperiment 33

TÀULA DLE FIGURE DLA PRIMA PART

Figura 1 – Esempi d'esperiment 14
Figura 2 – Adission ëd grandësse con eror 18
Figura 3 – Prodòt ëd grandësse con eror 19
Figura 4 – Division ëd grandësse con eror 20
Figura 5 – Schiss ëd bilansa analìtica 21
Figura 6 – Grandëssa variabil casualment. 23
Figura 7 – Distribussion dj'arzultà 24
Figura 8 – N'esperiment ëd misura d'acelerassion. 27
Figura 9 – Riga drita dij mìnim quadrà 28
Figura 10 - Paràbola dij mìnim quadrà 29
Figura 11 - Fluss dle procedure për n'esperiment 31
Figura 12 - Misura dël temp ëd cascà 33

ACHIT

An ste nòte i parloma ëd Fìsica Sperimental, e i pijoma coma cita introdussion matemàtica, për avèj coj utiss che a servo a na dëscrission rigorosa dle còse che i voroma dì, le "Nòte 'd matemàtica", ch'as treuvo an costa cartela. La speransa a l'é che la pì part ëd chi a l'avrà veuja ëd lese ste pàgine a peussa capijne quaicòs e peussa tové quaicòs d'anteressant. Se sòn a càpita nen, passiensa. Ël but a l'é nen col ëd fé lession a quaidun.

I stoma nen a definì cos a l'é an general la ***Fisica*** e còs a studia, e parej is la gavoma sensa tròpi pastiss. Disoma anvece che la ***Fisica Sperimental*** a l'ha ël but d'osservé ij fenòmeno e trové le lèj che a-i guerno, scrite coma relassion matemàtiche tra le grandësse che a interven-o (e vëddroma peui lòn che a l'é na grandëssa fisica). Na sudivision che i-j soma abituà a assègna a la Fisica ij fenòmeno andova a-i é nen trasformassion macroscòpica dla materia, mentre che a ciama Chimica l'ëstudi dë ste trasformassion. Già mach sì a-i saria da dëscute un bel péss.

Ant la Fisica Sperimental ël metod, an sostansa, a l'é sempe col anmaginà e dovrà da Galileo, che peui a vnirà, ani dòp, butà an manera rigorosa da Newton.[2] As oserva un fenòmeno, as considero (ò ipotiso) le grandësse che a interven-o, as supon na lej che a-j anlia fra ëd lor, che a peussa esse scrivùa coma na relassion matematica. Sòn a veul dì fé un model matemàtich dël fenòmeno osservà.

As organisa n'esperiment për arfé ël fenòmeno second ël model supòst, as misuro j'arzultà e as contròla se la lèj pensà a corispond a lòn che as peul misuré. Na lèj a venta che a sia formulà an termo quantitativ e nen mach qualitativ.

Dle vire le ipòtesi che as fan për giustifichè 'd fenòmeno complicà a son nen giuste e magara as sà già che a l'han nen vàire possibilità d'esse giuste, ma as deuvro për organisé ël travaj e as ciamo giusta "ipòtesi ëd travaj". J'esperiment che a na derivo a peulo dé d'informassion che a servo a s-ciairì le idèje.

L'ansema dle ipòtesi fàite për giustifichè un fenòmeno ò na categoria ëd fenòmeno as ës-ciama na "teorìa". Na lèj ò na teorìa a peulo esse verificà an manera sperimental con misure che a deuvo esse ël pì possibil precise. An Fisica Sperimental a-i é nen un limit a la precision che as serca d'oten-e.

Neuv esperiment che a ven-o fàit ò esperiment pì precis a peulo dimostré che na lèj ò teorìa a l'é nen giusta ò a l'é nen completa. Sòn a veul dì che ël model che i l'oma fàit a l'é da cambié ò da completé. A l'é nen dit che sto modél a sia sens'àutr da campé via, përchè a peul esse dovrà fin-a andova a l'é verificà e cand, an pràtica, l'aprossimassion che a serv a l'é nen pì fin-a dl'imprecision dël model midem.

Pr'esempi i podoma consideré ël model d'àtom che a l'éra stàit ipotisà da Thomson ant ël 1901. A coj temp ël problema a l'era che as savìa, da vàire còse, che ant j'atom a-i son sempe d'eletron carià negativ, ma che l'atom a l'é nèutr da na mira eletrica. As tratava donca ëd capì andova a-i ero le carie positive che a neutralisavo j'eletron. L'ipòtesi ëd Thomson a l'era che l'atom a fussa coma na bija con diameter 10^{-8} cm a-peu-pré, con caria positiva e massa dëstribuìa e j'eletron andrinta coma le grumele dla fruta. Con sto model as peul vëdde che l'echilibri tra atrassion dla nivola positiva e repulsion dle carie negative tra 'd lor a fan an manera che j'eletron as pòrto su surfasse consèntriche. Ël model a giustificava lòn che as conossìa fin-a a col moment.

Antant a l'éra stàita fàita l'ipòtesi dl'atom con nos sentral e j'eletron che a viravo antorna (ant ël 1904 Nagaoka, e peui Rutherford ant ël 1911). Sòn a smijava giust, dal moment che a l'ìera stàit dimostrà, con d'esperiment, che j'eletron a j'ero bon a traversé an manera bastansa fàcil la matéria. Se costa a fussa stàita satìa an manera pì ò manch uniform, com a suponìa 'l modél ëd Thomson, d'eletron slansà contra a l'avrìo dovù fërmésse motobin prima 'd lòn ch'a fasìo an pràtica. Për sto scond modél

[2] Sto metod a l'é ëdcò col che a buta le basi e ij prinsipi dla Fisica Sperimental, ant la formulassion che i ciamoma pròpi Newtonian-a.

d'àtom, però, a ventava trové na giustificassion al fàit che a iragiava nen energia coma a l'avrìo dovù fé, second la teoria classica, d'eletron che a viravo e che donca a sperimentavo n'acelerassion sentrìpeta. An dëspét ëd sòn, vaire còse a sugerìo sto modél dla strutura ëd l'atom coma ël pì bon a dëscrivlo (i l'oma dësgià dit dla "trasparensa" dla matéria a j'eletron).

N'esperiment ëd Geiger e Marsden (1908), fàit darera a consèj ëd Rutherford, e che a misurava con precision lòn che a capitava cand na particola alfa a traversava un sutil feuj ëd material, a l'ha përmëttù d'esclùde ël modél ëd Thomson, che a l'era nen compatibil con lòn che a l'éra stàit misurà. Se l'àtom a fussa stàit fàit second l'ipòtesi ëd Thomson, le partìcole alfa, carià positive, a l'avrìo dovù esse difùse ant un còno nen vaire largh e con na dàita intensità për ògni angol. Anvece as misuravo d'àngoj ëd deviassion motobin pì àut e fin-a particole che a tornavo andarera, cole che a rivavo motobin davsin a la nos sentral.

J'arzultà dla misura fàita a cobiavo bin, anvece, con l'ipòtesi ëd Rutherford. Antlora a l'é tratasse ëd capì, se sto modél a andasìa bin per un vers, com a l'éra la costion dl'energia che a vnisìa nen iragià da j'eletron. Ëdcò ant ësto cas a son stàite fàite vaire ipòtesi ëd modéj matematich che a giustifichèiso la situassion e d'esperiment për trové col giust. An efét a l'é trovasse, (da Böhr ant j'ani vers ël 1912 - 1913) a parte dai travaj e le esperiense ëd Planck an sl'asurbimente e l'emission dl'energia dle radiassion (travaj fàit fra 'l 1896 e 'l 1901), che a và bin un modél che a supon livéj d'energia stàbij për j'eletron antorna a la nos e l'iragiament che a corispond al passagi d'eletron da un livél a n'àutr.

As peul dimostré che l'ipòtesi djë stat stabij a l'é ëdcò compatibil con la teorìa classica a livél macroscòpich. Man man che le misure a dventavo pì precise, a càpitava ëd vëdde che ël model dovrà an col moment a l'era nen complét, coma cand a l'é dëscuvrìsse che la riga ëd lus giàuna d'emission dël sòdio a l'éra nen na riga sola ma doe righe davzin-e, e sòn mersì a l'utilisassion ëd n'ëstrument pì precis. Sòn a l'ha portà a la teoria dlë "spin" dj'eletron. Sòn a l'era ancora nen a basta, dal moment che nen tuti j'arzultà dle esperiense fàite a j'ero giustificà. Ancora Pauli a l'ha formulà la teoria djë stat quantich antorna a la nos, dont ognidun a peul esse ocupà mach da na partìcola (prinsipi d'esclusion, formulà ant ël 1924).

Ancora adess a le n'asar dì che l'atom a l'é sens'àutr fàit parej coma i lo conossoma (ò, méj, i lo dëscrivoma). Da un pont ëd vista rigoros i podoma giusta dì che l'atom as comporta an tut lòn che i l'oma podù vëdde e misuré, coma se a fussa fàit parej. A venta nen confonde ël model con la realtà, che da ràir a son l'istessa còsa.

Le lej dla Fisica, a peulo esse lej precise, rigorose, e antlora a càpita che pì la misura fàita për verifiché la lèj a l'é precisa, pì la lèj a l'é bin verificà; opura a peulo esse lèj aprossimà, përchè ant ël model matemàtich a son stàite fàite d'aprossimassion. Ant ësto cas l'àuta precision ëd na misura a peul buté an ciair le diferense tra ël modél dovrà e la realtà che a ven misurà.

N'esempi d'ëste lèj a l'é cola ëd Boyle, che a buta an relassion pression e volum ëd na dàita quantità ëd gas, e che a l'é scrita ant l'ipòtesi che le molécole dël gas a peusso esse considerà coma ëd pont sensa un volum. Sòn a va bin për un dàit camp d'aplicassion e se la precision che as veul a l'é nen tròp àuta. Fòra ëd sòn la lèj a dà d'arzultà che a son nen vaire giust. Antlora a venta sostituìla con la lèj ëd Van der Walls che a dëscriv l'istessa còsa ma che a consìdera ëdcò 'l volum dle molécole. Ant la pì part dle aplicassion pràtiche, tutun la lèj ëd Boyle a peul esse dovrà sensa avèj d'eror sensibij.

++++++++++

Prima d'intré ant ël discors dla Mecànica i arcordoma che a l'é méj dé n'uciada a quàich nossion matemàtica che a ven a taj an fisica, e che as treuva ant la part sòcià "Nòte 'd matematica ". Sì adéss comensoma a parlé 'd grandësse fìsiche, misure e d'eror ëd misura, che a son còse amportante ant la Fìsica Sperimental, com i l'oma dit.

GRANDËSSE FÌSICHE E MISURE

Fin-a a prima 'd Galileo la siensa a l'era pì orientà ai metod ëd dedussion dla filosofia, ant ël sens che un fenòmeno a vnisia oservà e as sercava ëd troveje na spiegassion che a fussa lògica, sensa da manca ëd quantifiché le grandësse an geugh e sensa rinunsié a concét pijà da quàich pensé filosòfich. As pensava pròpi nen che a-i fussa da manca 'd na verìfica sperimental, ëdcò përchè a l'era nen fàcil ò nen possìbil costruve dë strument che a andèisso bin a fé 'd misure precise. Le stesse grandësse fìsiche a j'ero nen vaire definìe an manera precisa.

Ant ël moviment dij còrp, pr'esempi, as pensava che a fussa la velocità a esse proporsional a l'intensità dla rason dël moviment, e st'idèja, basà an sij prinsìpi dla filosofìa d'Aristòtele, a l'é andàita anans për doimila ani, e pròpi përchè as suponìa nen che ventèissa fé 'd verìfiche sperimentaj rigorose che anvece a l'avrìo podù mostré che quaicòs a cobiava nen.

Sòn a veul nen dì che a-i fusso nen staje d'amportante intuission e che as fèisso nen ëd cont. A basta pensé a la definission dla possà d'Archimede për un sòlid fongà ant un liquid (sòn second la tradisson, e prima dël 212 a.C), ma ëdcò certe intuission sla teorìa atòmica dla materia (fàite pr'esempi da Demòcrito, ant l'anviron ël 400 a.C.) a peulo nen esse considerà mach ëd gavade (da na mira fìsica, përchè la part filosòfica a l'era tuta n'àutra còsa) che për asar a l'han tacaje, përchè le osservassion fàite e 'l rasonament lògich che a-i era dapress a l'avìo tut sò valor. Sensa peui parlé dj'ëstudi astronòmich, che a son servù e a servo 'ncora, e djë studi an sla Stàtica, già ai temp d'Archimede, che a j'ero motobin precis e che a son stàit aplicà ant l'Architetura con d'euvre grandiose, e via fòrt.

L'intuission ëd Galileo a l'é staita che tut lòn che a ven oservà a venta che as peussa dëscrive an termo quantitativ e nen mach qualitativ. Antlora as peul nen ciamé siensa na dëscrission ëd lòn che a peul nen esse misurà. Parèj a ven ëdcò pì ciàir lòn che a peul esse considerà coma na grandëssa fìsica, com i vëddroma sì dapréss. A arzulta ëdcò ciàir che la dëscrission ëd tuti ij fenòmeno fìsich a l'é fàita travers la matemàtica, che a pìja parèj n'amportansa essensial.

Na grandëssa fisica a l'é na carateristica (ò parameter) dla materia che a peul esse misurà e che a interven ant na lèj fisica che a dëscriv un fenòmeno an ëstudi. An costa definission, a la bon-a, a venta fé intré ëdcò ël temp, che a l'é sens'àutr la grandëssa la pì anteressà da le lèj fisiche, an particolar a cole dël moviment. N'esigensa dël metod sperimental, com i l'oma vist, a l'é pròpi cola 'd dëscrive i fenòmeno an manera quantitativa, e donca definì n'entità coma "grandëssa fìsica" a veul dì, prima ëd tut, definì na manera precisa e nen sogetiva 'd misurela.

La misurassion ëd na grandëssa fisica a l'é, coma prima idèja, un metod che a përmëtt ëd paragoné la grandëssa con n'àutra 'd l'istess tipo, che a ven pijà coma unità ëd misura, e arcavé un nùmer real che a stabiliss ël rapòrt tra 'l valor dla grandëssa misurà e 'l valor dl'unità 'd misura. Përchè la misura ch'as oten a l'abia un precis significà a venta antlora che l'unità 'd misura che as deuvra a sia bin definìa, për tuti a l'istessa manera e intèisa da tuti a l'istéssa manera. A venta che as peussa fé ëd campion precis ëd costa unità, për nen che a la longa a peussa varié ant ël temp e ant lë spassi (sempe e daspërtut a venta ch'a sia l'istessa còsa për tuti).

Grandësse che a peulo esse misurà parej, arferend-se an manera diréta a l'istessa unità 'd misura, a son dite **grandësse omogenie** con l'unità 'd misura. La sernìa dl'unità ëd misura a l'é d'autut arbitrària, ma na vira che l'unità a l'é stabilìa, a dventa n'arferiment costant e universal.

Na bon-a part dle grandësse fìsiche (ant la Fìsica newtonian-a) a l'ha un carater vetorial, vis-a-di che a l'é caraterisà nen mach dal nùmer che a dà sò rapòrt con l'unità ëd misura, ma ëdcò da na diression, un vers e magara da un pont d'aplicassion. La misurassion a venta che a përmëtta d'ëstabilì ëdcò costi parameter che, natural, a ciamo 'dcò la definission d'un sistema d'arferiment ant lë spassi.

Tute le grandësse a podrìo avèj soa unità 'd misura andipendenta, che për quaidun-a a saria fàcil da definì e për quaidun-a d'àutra bin dificil. Ma se tute le grandësse a l'avèisso soa unità 'd

misura, nen anlià a cola dj'àutre, ant j'espression (lèj) che a dëscrivo ij fenòmeno a-i sario un mugg ëd costant ëd proporsionalità për adaté le diferente unità.

A conven antlora, tut andova as peul, esprime le unità 'd misura 'd na grandëssa travers unità ëd misura d'àutre grandësse già definìe. Dit parej a smija complicà, ma n'esempi a peul s-ciairì subit ël concét. I podrìo definì n'unità ëd misura 'd velocità (beleché a sarìa nen facil) indipendenta e arbitraria, e anvece l'unità 'd velocità a ven definìa travers l'unità 'd longhëssa (o spassi) e l'unità 'd temp. Antlora l'unità 'd misura dla velocità a l'é nen definìa coma na velocità caraterìstica pijà com arferiment (coma pr'esempi la velocità dël son a dàite condission, ò d'àutr) ma cola velocità che a fà përcore n'unità 'd longhëssa ant l'unità ëd temp.

Le grandësse e le corispondente unità 'd misura, për sòn, a son stàite dividùe an **grandësse e unità fondamentaj**, definìe da 's për lor, sernùe an manera che a peusso nen esse derivà l'un-a da l'àutra e che a son pòche, e **grandësse e unità derivà**, che a son motobin ëd pì e che as esprimo travers d'espression fàite con le unità fondamentaj.

ËL SISTEMA ËD MISURA

A venta antlora serne le grandësse fondamentaj, e tra tute le grandësse la sernìa compatibil con lòn che i l'oma dit a l'é nen ùnica. Peui, për coste grandësse fondamentaj sernùe, a toca decide n'unità 'd misura che a peussa esse controlà travers na misura, an manera facil e, pì che tut, motobin precisa e ch'as peussa arpete ant j'istesse condission con j'istéss arzultà daspërtut. A venta peui produve 'd campion che a servo d'arferiment e contròl. A l'é natural che peui tute j'àutre grandësse fìsiche a venta che a peulo esse derivà da le grandësse fondamentaj. Tut ël rést a ven coma conseguensa.

Fé sòn a veul dì stabilì un **Sistema ëd Misura**.

Vaire sistema a son stàit propòst e dovrà ant ël passà, ma ògni region a finìa për avèj ël sò, e për passé da l'un a l'àutr a tocava fé sempe ëd conversion. Ëdcò adess, an pràtica, a son ancora dovrà diferent sistema ant la vita normal e ant la técnica. A basta arcordé ël sistem inglèis, che a misura pr'esempi le longhësse an "inch, feet, yard, miles", che a ciamo ognidun-a soa conversion particolar për rivé al meter e soe unità derivà. La stessa còsa a val për ij pèis e ij volum. Ël sistèma, com as capiss sùbit, a l'é nen vaire pràtich, ma as contìnua a dovrélo për rason pì che d'àutr ëstòriche.

Pr'esempi, ëdcò da noi, ij diameter dij tubo 'd l'aqua e dël gas e soe filetadure, as costuma misuréje an pòles e frassion binarie ëd pòles. Ma se peui as veul calcolé la portà dël tubo an lìter al second, a venta fé la conversion fra doi sistema diferent.

Ël Sistema Internassional (S.I.)

Ël sistema ufissial che adess a l'é acetà, an camp sientifich, da (quasi) tuti as ës-ciama **Sistema Internassional** (SI) e a definiss **set grandësse** dont le unità a son pijà coma **fondamentaj**. Da coste a ven-o peui derivà tute j'àutre. Ëd coste grandësse fondamentaj i vardoma le tre che a son necessarie e suficente për la Mecànica Sperimental che i vëddroma noi.[3]

- Ël temp (T) che ha l'ha coma unità ëd misura ël second [s]. Ël second a l'era stàit definì coma na part d' 86400 dël dì solar medi. Adess a ven definì an manera pì precisa coma: *L'interval ëd temp che a-i va për l'emission ëd 9.192.631.770 onde dla radiassion emëttùa ant la transission tra doi stat iperfin dal cesio 133.* Con l'atressadura d'ancheuj a l'é ëdcò pi facil e lesta da fé coma misura an laboratòri.

- La longhëssa (L) che a l'ha coma unità ël meter [m]. Ël meter a l'era stàit definì coma na longhëssa campion goernà ant ël *Bureau International des Poids et Mesures, a Sèvres (Paris).* A corispondìa a-peu-pre a la part un ëd 10 milion dla distansa tra Equator tèrestr e Pòlo, opura a la part un ëd 40 milion dla longhëssa dl'Equator. Adess a ven definì an manera pì precisa coma: *La distansa che la lus ant el veuid a përcor ant un temp ugual a na part ëd 299.792.458 ëd second.* Parej a l'é pì precisa e pì facil da misurè an laboratòri.

- La massa (M) che a l'ha coma unità ël chilograma [kg]. Ël chilograma a l'era, e a l'é ancora adess, definì coma: *La massa dël campion d'arferiment goernà ant ël Bureau International des Poids et Mesures, a Sèvres (Paris).* Sòn a corispond a-peu-pré a la massa d'un decimeter cubo d'aqua distilà a 15 gré Celsius ëd temperatura e a la pression ëd 760 mm ëd mercuri.

[3] J'àutre quatr as arferìsso a òtic, eletricità, magnetism, e an pì a-i é na definission ëd "quantità 'd materia", dont la diferensa con ël concét ëd "massa" a dventa ciàira an Fìsica relativìstica.

I notoma che j'angoj, ant ël camp sientifich, as misuro an radiant e che a son nùmer pur (sensa na dimension), coma i l'oma già vist ant la part matemàtica e coma i vëddroma torna méj a sò temp. As trata, an efét, dël rapòrt tra n'arc ëd sercc e sò ragg, coma dì méter divis méter. Macassìa a son stàite dàite doe definission për coste unità, ciamà "***unità suplementar*** " che a son :

Àngol pian, che a l'ha coma unità ël **radiant [rad]** che a l'é l'angol al senter ëd na sirconferensa che a anterceta n'arch ëd longhëssa ugual a cola dël ragg.

Àngol sòlid, che a l'ha coma unità lë **steradiant [sr]** che a l'é l'àngol sòlid al senter che as na sféra a anterceta na calòta che a l'àbia na surfassa ugual a un quadrà con ël ragg dla sfera coma lat.

Da coste unità fondamentaj a ven-o peui derivà le unità ëd misura dj'àutre grandësse che a son d'anteressi për la mecànica. Quaidun-a a l'ha sò nòm, quaidun-a no. Sì i arportoma na lista ëd quaidùn-a dë ste unità, che as arferisso a grandësse 'd la mecànica che i dovreroma ant ësté nòte.

A peul esse che l'indicassion dàita ëd lòn che a son ste grandësse a sia, a sta mira, ancora nen vàire ciàira. Man man che a saran definìe e che a saran dovrà ant ël cors dë ste nòte as capirà méj ëd lòn che as trata.

- Velocità: Variassion ëd lunghëssa ò posission (spassi) ant ël temp: meter al second [m/s] (Për definì na posission a venta stabilì un sisema d'arferiment)

- Acelerassion: Variassion ëd velocità ant ël temp: meter al second quadrà [m/s^2]

- Fòrsa: Assion che a produv n'acelerassion an s'na massa (a l'ha sò nòm): *Newton [N]* = chilograma për meter al second quadrà [N] = [$kg \cdot m/s^2$]

- Moment: Arzultà ëd na fòrsa aplicà a un brass (distansa) rispét a un pont: *Newton për meter [N · m]* = chilograma për meter quadrà al second quadrà = [$kg \cdot m^2/s^2$]

- Quantità ëd moviment: Na massa për soa velocità: chilograma për meter al second = [$kg \cdot m/s$]

- Moment ëd la quantità ëd moviment: Arzultà ëd na quantità ëd moviment aplicà a un brass (distansa) rispét a un pont: chilograma për meter quadrà al second = [$kg \cdot m^2/s$]

- Travaj: Arzultà ëd na fòrsa che a produv n'ëspostament (a l'ha sò nòm): *Joule = Newton për meter [J] = [N · m]* = chilograma për meter quadrà al second quadrà = [$kg \cdot m^2/s^2$]

- Camp gravitassional: Assion ëd na massa an su n'àutra massa unitària. meter al second quadrà [m/s^2]. As trata donch ëd n'acelerassion.

- Energia Potensial: Capacità ëd na fòrsa ëd fé un travaj dovùa a soa posission (a l'ha sò nòm): *Joule = Newton për meter [J] = [N · m]* = chilograma për meter quadrà al second quadrà = [$kg \cdot m^2/s^2$]. Energia e travaj a l'han j'istesse dimension përchè a son an sostansa l'istessa còsa.

- Energia cinética: Capacità ëd na massa ëd fé un travaj dovùa a soa velocità (a l'ha sò nòm): *Joule = Newton për meter [J] = [N · m]* = chilograma për meter quadrà al second quadrà = [$kg \cdot m^2/s^2$]. A l'ha sempe le dimension ëd n'energia.

- Potensa: Travaj che a ven fàit ant l'unità ëd temp (a l'ha sò nòm): *Watt = Joule al second [W] = [J/s] = Newton për meter al second = [M · m / s]* = chilograma për meter quadrà al second cubo = [$kg \cdot m^2/s^3$]

- Velocità angolar: Variassion ëd l'angol ant ël temp: radiant al second [1/s]
- Frequensa: Nùmer ëd gir al second ò period al second (a l'ha sò nom): *Hertz [Hz]* = gir al second [1/s]. Dàite soe dimension, a peul esse pensà coma na velocità angolar.
- Acelerassion sentripeta: Variassion ëd velocità normal a la diression dla velocità: meter al second quadrà [m/s²]
- Moment d'inersia: Fator ëd relassion tra moment e acelerassion angolar për masse che a viro antorna a n'ass: chilograma për meter quadrà [kg·m²]

Na lèj fìsica a l'é n'espression andova un member a l'é ugualià (paragonà) a un àutr e sòn a veul dì che le doe grandësse, arpresentà ant ij doi member, a venta che a sio omogénie e donca ch'a l'abio j'istesse dimension (istessa unità ëd misura).

An efét na lèj fìsica a l'é nen mach n'ugualiansa numérica, ma n'ugualiansa fra grandësse. Sta corispondensa fra grandësse a l'é necessaria, dësnò la lèj a l'é sbalià sicur, ma a l'é natural che a l'é nen suficenta përchè la lèj a sia sens'àutr giusta.

Coma consegoensa a ven che na lèj che a definissa na grandëssa, antlora, a-j assègna 'dcò soa dimension ò unità 'd misura.

Mùltipl e sota-mùltipl

As capiss che 'l sistema SI a l'é basà an sël sistema metrich decimal e a peul dovré multipl e sota-mùltipl dle unità, che a van ëd des vire an des vire, opura mila vire an mila vire, coma tuti i savoma. I prefiss për ste unità a son bin conossù se a son davsin a l'unità, manch conossù se a son coj motobin gross opura motobin cit. Na particolarità a l'é ël chilograma che a l'é unità 'd misura, ma a l'ha 'l nòm d'un multipl dël grama (mila vire). I doma la tàula sì sota:

Prefiss	Rapòrt con l'unità	Prefiss	Rapòrt con l'unità
deci	0,1	deca	10
senti	0,01	etto	100
mili	0,001 (10^{-3})	chilo	1'000 (10^{3})
micro	0,000001 (10^{-6})	mega	1'000'000 (10^{6})
nano	10^{-9}	giga	10^{9}
pico	10^{-12}	tera	10^{12}
fëmto	10^{-15}	peta	10^{15}
atto	10^{-18}	exa	10^{18}

Paragon con àutri sistema

Vardoma giusta un moment che diferensa a-i é tra ël Sistema Internassional ch'i l'oma vist e d'àutri sistema ëd misura dont as sent parlé, e che a son stàit dovrà ò a lo son ancora.

Ël sistema MKS

An pràtica gnun-e diferense. An cost sistema (për unità mecàniche) a l'éra diversa la manera ëd definì l'arferiment ëd base, ma lòn che a vnisia definì a l'era l'istessa còsa ëd lòn che a definiss adess ël sistema S.I. almanch për le unità dla mecànica. Le diferense ëd definission as arferisso pì che d'àutr a la sernìa dle unità eletro-magnétiche. Pr'esempi la fòrsa a l'ha l'istessa definission $N = kg \cdot m / s^2$.

Ël sistema CGS

Un sistema ëdcò dovrà, a l'é ël sistema **CGS**, basà an sle stesse grandësse fondamentaj, che donch a pija coma unità ëd massa e longhëssa ëd sota-multipl dël sistema **SI** o **MKS** che a son ël **grama** për la massa (un chilograma = 1000 grama) e ël **sentim** për le longhësse (un mèter = 100 sentim). Coma për ël sistema MKS le diferense as arferisso pì che d'àutr a la sernìa dle unità eletro-magnétiche. La fòrsa (con unità ciamà "***dina [D]***") a dventa $D = g \cdot cm / s^2$ e antlora $1\ D = 1 \cdot 10^{-5}\ N$

Ël sistema "pràtich"

I arciamoma l'atension an sël fàit che ël chilograma, ant ij sistema ***MKS*** e ***SI***, a l'é na misura ëd massa e nen ëd fòrsa. Sòn përchè ant l'usagi comun ij doi concét a son sovens confondù e mës-cià. A-i era, an efét, un sistema ëd misura, che a-i disìo "***pràtich***", che a definìa coma unità fondamental la fòrsa anvece dla massa e l'unità ëd misura dla fòrsa a l'éra ël "***chilograma-pèis***". I torneroma peui an sta question, dòp avèj definì j'aspét carateristich ëd la massa (e sòn i lo faroma an prinsìpi dla dinamica). Sì i disoma mach che sto sistema a l'ha procurà pitòst ëd confusion. Ël pèis a l'é na forsa, ël chilograma a serv nen për misuré le fòrse. Coma i vëddroma a sò temp, an sla tèra na massa d'un chilograma a pèisa *9,81 Newton*. Dì che na còsa a pèisa un chilo a l'é n'aprossimassion che a va mach bin al mercà. La còsa giusta a sarìa dì che cola còsa a l'ha massa d'un chilo përchè an sla tèra a pèisa *9,81 Newton* pì ò manch, coma tut lòn che a l'ha l'istessa massa d'un chilo. Dòp vëddroma ëdcò da andova a seurt sto nùmer *9,81*.

A esisto ancora ëd tàule con valor derivà con ël sistema pràtich ò misurà an manera sperimental dovrand sto sistema. A venta fé atension che dle vire, second la grandëssa arportà ant la tàula, për dovré ij valor ant ël sistema *SI*, a venta dividje o moltiplichéje për *9,81*.

Sòn. pr'esempi, a càpita an tàule che a dan la densità dl'ària a diferente quòte e che as deuvro ant l'aerodinàmica. La densità a l'é la massa për unità 'd volum. La massa d'un meter cubo d'ària a peul esse *1,29 kg*, e soa densità a l'é giusta $1{,}29\ kg/m^3$. Ant ël sistema pràtich un meter cubo d'ària a pèisava *1,29 kg-pèis*, considerà coma fòrsa. Dal moment che, com i vëddroma, la fòrsa a l'é na massa moltiplicà n'acelerassion e l'acelerassion ambelessì a l'é cola 'd gravità ($g = 9{,}81\ m / s^2$), ël sistema pràtich a definìa la massa coma unità derivà : $m = F / g$, e donca për la massa d'un meter cubo d'ària as dividìa la fòrsa për l'acelerassion e as otnìa : $m = 1{,}29 / 9{,}81 = 0{,}1315\ \ kg \cdot s^2 / m$ e la densità a l'era $0{,}1315\ \ kg \cdot s^2 / m^4$ e cost a l'é 'l valor arportà ant na tàula dë sto tipo.

Ël sistema inglèis

I l'oma vist che inglèis, american e àutri che a j'ero an sò camp d'influensa a deuvro un sistema ëd misura diferent ant la pràtica e ant la técnica.

Ël temp a ven ancora sempe misurà an second, ma për le longhësse as deuvro vàire unità ëd misura, che tra 'd lor a stan nen an fator des. A-i é ël pòless (inch) che a val 2,54 cm, a-i é ël pé (foot) che a val 30,48 cm, a-i é la yard che a val 91,44 cm. Un pé a val 12 pòles e na yard a val 36 pòles (3 pé). Le mija a valo 1609 meter, ma a-i son ëdcò àutri doi tipo ëd mija, con longhëssa diferenta.

Për ij pèis, a l'é sùbit bin pòch ciàir (almanch për mi) se as trata ëd pèis dabon opura ëd massa. Pijand la còsa coma ant ël véj sistema pràtich, a-i é la libra (pound) che a val 453,59243 grama e l'onsa (ounce) che a val 28,35 grama (sëddes onse a fan na libra), e via fòrt. Fra le diferente unità a-i son nen fator ëd des coma rapòrt , e sòn a semplìfica nen la vita.

Àutre misure dovrà

Ma pr'esempi, ëdcò andova ël sistema *SI* a l'é pì dovrà, sovens la velocità a ven misurà an *km/h* (chilòmeter a l'ora) e nen an meter al second. A sto propòsit i foma notè che ant un chilòmeter a-i son *1000* meter, ant un ora a-i son *3600* second. Antlora l'unità ëd misura km/h a l'ë *3,6* vire pì cita che nen l'unità m/s. Sòn a veul dì che ël nùmer che a arpresenta la velocità an km/h a l'é *3,6* vire pi gròss ëd col che a arpresenta l'istessa velocità an *m/s*.

Pr'esempi *10 m/s* a son *36 km/h*. Sòn a fà vëdde che se le unità a ven-o nen definìe coma i l'oma vist si dzora, ant j'espression a servo ëd costant ëd conversion. (Già che i-i soma arcordoma che ël limit ëd velocità an sle strà an Italia - 25 gené 2009 - a l'é *36,1111.... m/s*, se quàich cartél a dis nen che a l'é 'd manch).

L'esigensa pràtica ëd manten-e sta manera ëd misuré le velocità për còse tipo j'automòbj a ven dal fàit che a l'é comod dé le distanse frà ij pòst geogràfich an chilometer e nen an meter, e che a ven mal misuré la durà d'un viagi an second. Dì che i l'hai fàit *88750 meter* për rivé a Bardonécia da Turin e che i l'hai butaje *4750 second* a na media ëd quàsi *19 meter al second*, a l'é na còsa fòra dij nòstri schéma mentaj.

A l'istéssa manera a l'é bin dificil trové, fòra dal camp sientìfich, d'àngoj che a sio misurà an radiant e nen an gré.

Macassìa an tut ël mond, për la navigassion aerea, as continua a dovré la velocità orisontal an milia (coste milia sì a valo a-peu-pré 1852 meter) a l'ora (che as diso "neu") e cola vertical an pé al second. Le distanse a son an milia, j'autësse an pé. Calcolé an gré ò an radiant l'angol ëd calà për rivè a tera da na distansa ëd 4 milia da 1800 pé d'autëssa a l'é nen na còsa imedià. Ëdcò sì a-i và un coeficent ëd conversion. Milia e neu a son dovrà 'dcò an marin-a, andova le profondità as misuro 'dcò an pé.

Fra le misure che a stan nen ant ël Sistema Internassional e che a l'é fàcil trové i na arportoma 'ncora giusta quaidùn-a, ch'as treuva motobin sovens an particolar camp dla técnica e nen mach, con ël relativ coeficent ëd conversion.

Grandëssa	Sìmbol dovrà	Echivalent S. I.
longhëssa an ångström	Å	1 [Å] = 10^{-10} [m]
velocità angolar an gir/min	n/min	1 [n/min] = $2\pi/60$ [rad/s]
pression an atmosfere	atm	1 [atm] = 101325 [N/m^2]
pression an atmosfere tecniche	at	1 [at] = 98066,5 [N/m^2]
pression an bar	bar	1 [bar] = 10^5 [N/m^2]
pression an milim ëd mercuri	mmHg - torr	1 [mmHg] = 1 [torr] = 133,322 [N/m^2]
potensa an cavaj	CV	1 [CV] = 735,499 [W]
energia an kilowatora	kWh	1 [kWh] = 3,6 · 10^6 [J]
energia an eletonvolt	eV	1 [eV] ≅ 1,602 · 10^{-19} [J]
cària elétrica an amperora	Ah	1 [Ah] = 3,6 · 10^3 [C] - *Coulomb* -

Pàgina lassà veuida apòsta

MISURE, EROR E PRECISION

L'esperiment che a ven fàit për verifiché n'ipòtesi misurand na grandëssa a venta che a sia fàit an manera giusta për l'ipotesi che i voroma controlé, vis-a-dì che a venta che a misura dabon quaicòs ëd significativ. Sòn a smija na folairà, ma ant ël sempi esempi che i doma dapress, as capiss lòn che i voroma dì. An cost esempi a l'é fàcil nen sbalié, ma an cas pì complicà a l'é nen parèj dificil pijé 'd farfale. A venta peui che l'esperiment a sia bastansa precis.

Pr'esempi, se i voroma dëscrive lòn che a càpita cand na pera a tomba da na dàita autëssa, se i pijoma na mostra, na pera e n'autëssa e i vardoma ël temp che la pera a-i buta a rivé an fond, i podoma nen conclude che la pera a viagia a la velcità che a arzulta da l'autëssa dividùa për ël temp che i l'oma misurà, përchè se l'autëssa a cambia i misuroma na velocità che a l'é diferenta.

L'ësperimantator a venta che a capissa, an cost cas, che sò esperiment a dà mach la velocità média 'd la pera, che anvece a l'ha na velocità variabil. La lèj giusta a venta che a dëscriva la velocità atim për atim. Ël contròl ëd la lèj, peui as peul ëdcò fé misurand le velocità medie për autësse diferente e vardand che a sio cole che as peulo calcolé dovrand la lèj che i l'oma suponù.

Na velocità che a sia misurà come rapòrt tra spassi e temp e che donca a sia la misura 'd në spassi e un temp a peul mach esse na velocità media, ant un temp che a venta për fòrsa che a dura almanch un pòch e donca la velocità misurà a sarà la velocità media ant ësto temp.

Sòn a sarà vist méj dòp. Sì i voroma mach dì che a venta che a sio conossù ij limit ëd nòstr esperiment, për nen misuré na còsa pensand che a sia n'àutra.

Se peui ant la misura i dovroma strument tròp amprecis, antlora a peul esse che l'arzultà trovà, tròp divers da lòn che a l'é dabon capità, a peussa sugerì 'd conclusion d'autut sbalià.

Da sì a ven l'amportansa ëd valuté méj ch'as peul l'eror fàit ant la misura. N'arzultà da sol, sensa la valutassion ëd sò eror possibil a l'ha nen un sens sientifich.

Misure direte e andirete

L'esempi ëd misuré la distansa e ël temp për trové na velocità a mostra na misura andireta 'd na grandëssa. An manera direta, an efét, i misuroma un temp e na distansa, la velocità a ven peui calcolà dòp, coma rapòrt ëd doe misure direte.

As peulo consideré, an efét, tre manere 'd fé na misurassion ëd na grandëssa.

Na misura direta, a l'é ël confront imedià fra la grandëssa e soa unità ëd misura. La misurassion ëd na distansa con un meter a l'é n'esempi. Ël rapòrt fra la grandëssa an misurassion e l'unità 'd misura (omogénie) a dà an manera direta la misura (intèisa coma valor trovà) ch'i sercoma. As trata giusta 'd vëdde quante vire nòstra unità 'd misura a stà an nòstra grandëssa.

Na misura andireta a l'é dàita da la misura d'àutre grandësse, che con ij calcoj giust, a dan ël valor ëd la grandëssa che i sercoma. Sòn a l'é sempe necessari cand a-i é nen n'ogét che an procura l'unità ëd misura. An pràtica i dovroma na lèj che a anlìa nòstra grandëssa y con d'àutre x_1, ... x_n che i savoma misuré $y = f(x_1, \ldots x_n)$. Mentre as peul avej, pr'esempi, un regol che a arpòrta l'unità 'd longhëssa, un meter, a-i é nen un quaicòs che a j'ësmija che a arpòrta un meter al second da confronté an manera direta con la velocità da misuré.

Na misura con në strument tarà, a l'é, se as veul, sempe na misura andireta, ma d'un tipo diferent da col sì dzora. Lë strument, che a sfruta n'efét dla grandëssa an misura, a ven tarà su campion dla grandëssa ch'a misura, an manera che a arproduva n'arzultà giust. As peul consideré che tuti ij temp a ven-o quasi sempe misurà an costa manera, travers mostre e cronòmetro, ch'a sio mecànich ò eletrònich ò atòmich.

Ël tachìmeter che i l'oma an machina a l'ha na lansëtta che a dà na velocità, ma an realità sta misura, che a peul esse realisà an vàire manere, a l'é sempe motobin andireta. A peul esse, pr'esempi,

l'indicassion dla deformassion ëd na mòla antagonista a la cobia che na calamita che a vira a na dàita velocità angolar a produv su un dischet ëd fer. A l'é lògich che në strument parèj, na vira fàit, a venta ch'a sia tarà e peui, ògni tant, controlà.

A l'é ciàir che ant ël cas ëd misure direte le possibilità ëd fé d'eror a son manch che ant ël cas ëd misure andirete. Ant le misure andirete i vëddroma coma ij diferent eror dle misure direte as combin-o e a anfluisso an sl' arzultà final.

Ma na misura a peul esse ancora ëd pì indireta rispét a l'esempi si dzora. Se pr'esempi, as veul misuré la velocità d'un proietil sparà da un fusil, a l'é bin dificil e costos organisé na misura che a arleva temp e distansa. A l'é motobin pì facil misuré l'energia cinetica che ël proietil a céd se a ven fëmà, e peui, avend misurà ëdcò soa massa, calcolé cola che a l'era soa velocità, dovrand la lèj che a definiss l'energia cinética. A soa vira, però, ëdcò st'energia cinetica a ven misurà atravers un sò efét (sto esperimènt i lo vëddroma dòp).

St'ùltim esempi ch'i l'oma fàit a mostra coma, dle vire, la misurassion ëd na grandëssa a pròvoca la "*distrussion* " ò almanche na "*auterassion* " ëd lòn ch'i stoma misurand. Për savèj cola ch'a l'era la velocità dël proiétil i l'oma dovù fermelo, e donca i l'oma dovù porté a zero pròpi soa velocità.

N'esempi ëd misura

Giusta për fé n'esempi, i anticipoma lòn che a podrìa esse pròpi l'esperiment che a contròla la lej che a val për un còrp ch'a casca, e për sòn is arferima a figura 1. I vëddroma ëd capì còsa i misuroma dabon e con che eror.

An figura a-i è n'aparechiadura che a va bin për studié la cascà d'un grév. Na colòna a ten pendùa a na dàita autëssa na balin-a che a peul esse dëstacà con un comand elétrich, l'istess comand a fà parte un conteur ëd temp che a và anans ëd n'unità ògni milesim ëd second. Cand la balin-a a toca 'l sensor an bass, ël conteur a ven fërmà. La distansa **h** a peul esse ògni vira diferenta. Cand ël conteur a part a buta ëdcò an fonsion n'iluminator a lòsne che a fà na lòsna ògni décim ëd second. Se l'esperiment a l'é fàit a l'ëscur ant na stansa nèira, as peul, anans ëd fé casché la balin-a, duverté l'obietiv ëd na machina fòto bin fissà. Durant la cascà la pelicola a "fërma" la posission ëd la balin-a a ògni lòsna. Un regol d'arferiment che a ven ëdcò chièl fotografà a giuta a stabilì ste posission.

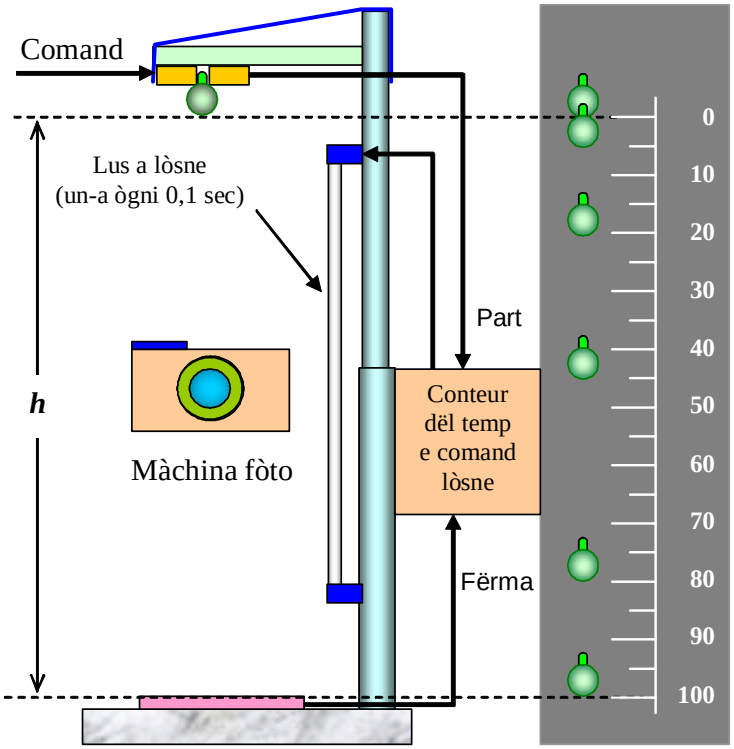


Figura 1 – Esempi d'esperiment

L'arzultà final dl'esperiment a l'é na fòto coma cola ëd figura e peui na misura dël temp total ëd cascà. L'autëssa a l'é stàita misurà e donca a l'é conossùa.

I foma finta ëd savèj gnente an sla cascà dij grév e vëddoma lòn che as peul deduve da j'arzultà che i l'oma trovà. Suponend, coma prima aprossimassion, che le lòsne a capito giust ògni un su des ëd second e che a duro motobin pòch (foma quàich unità su mila ëd second), i vëddroma che la figura dla balin-a, an particolar vers ël bass, a l'é un pòch bogià, ma suponoma ëd podèj serne con precision un pont d'arferiment (pr'esempi ël senter ëd la figura dla balin-a).

La prima lòsna a capita cand la balin-a a ven liberà e a l'é ancora fërma. La sconda lòsna a càpita dòp un ëd des ëd second. Se la scala dla distansa a l'é an centim (distansa total d'un meter) as peul valutè che l'ëspassi fàit an st'interval a l'é a-peu-pré 5 cm. Se i vardoma la distansa fra sta balin-a e cola a la tersa lòsna i vëddoma che a l'é, sempe a-peu-pré, 20 – 5 = 15 cm. Tra la tersa e la quarta lòsna i l'oma 45 – 20 = 25 cm, e via fòrt.

Prim arzultà: *L'ëspassi che a ven fàit ant l'interval costant d'un su des ëd second a chërs con ël temp. Ël moviment a l'é donca acelerà.*

Suponoma coma prima ipòtesi che l'acelerassion a sia costanta, e vëddoma se sòn a l'é compatibil con lòn che i l'oma misurà. Ant ël prim interval l'ëspassi fàit a l'era 5 cm e l'interval a l'era 0,1 s. Sòn a dà na velocità media $\bar{v}_1 = \frac{0{,}05}{0{,}1} = 0{,}5\,[m/s]$. Se l'acelerassion a l'é costanta, la velocità a chërs an manera linear e se al moment t = 0 la velocità a l'era zero, a la fin dël prim interval a dovia esse v_{f1} tal che $\bar{v}_1 = \frac{0 + v_{f1}}{2} = 0{,}5$ e donca $v_{f1} = 1\,[m/s]$.

Se l'acelerassion a l'é costanta, a veul dì che la velocità, për ògni interval d'un su des ëd second a chërs d'un meter al second. Antlora la velocità final dl'ëscond interval a dovrà esse $v_{f\,2} = v_{f\,1} + 1 = 2$ *[m/s].* La velocità media an cost interval antlora a deuv esse dàita da $\bar{v}_2 = \frac{v_{f1} + v_{f2}}{2} = 1{,}5\,[m/s]$. Con sta velocità media as fàn 15 cm ant un su des ëd second, pròpi coma i l'oma vist da la fòto. L'istess rasonament aplicà al ters interval a conferma l'ipòtesi ëd na velocità che a chërs d'un meter al second ògni un su des ëd second.

Scond arzultà: L'acelerassion **g** a l'é costanta e a val a-peu-pré **g** = 1/0,1 = 10 m/s

Ma la misura a l'é nen basta precisa për stabilì quant a val ëd precis **g**. Për sòn i podoma dovré ël temp total ëd cascà, che i suponoma ch'as peussa misurè an manera pì precisa.

Ël conteur dël temp as fërma a *0,451* [*s*] e se i podoma fidesse dël valor, i podoma dì che për fé un meter a-i và sto temp. Antlora:

$$s = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \quad ; \quad 1 = \frac{1}{2} \cdot g \cdot 0{,}451^2 \quad ; \quad g = \frac{2}{0{,}451^2} = \frac{2}{0{,}2038} = 9{,}814\left[m/s^2\right]$$

As peul ancora fé un contròl cambiand l'autëssa ëd cascà a un meter e més e controland che ël temp indicà dal conteur a sia coerent.

$$1{,}5 = \frac{1}{2} \cdot 9{,}814 \cdot t^2 \quad ; \quad t = \sqrt{\frac{3}{9{,}814}} = 0{,}553\,[s]$$

Se nòstre ipòtesi a son giuste, ël conteur as fërmrà a *t = 0,553 s*.

Coma prima aprossimassion l'esperiment a dà j'arzultà che is ëspetavo, se i pensavo che la lèj a fussa cola ëd n'acelerassion costanta (vëdde peui) ma se i rivèisso a felo pì precis i vëddrìo che quaich cont a torna pì nen, përchè la balin-a as compòrta coma se, pì a va fòrt pì a l'é frenà da quaicòs. An efét, se i giontèisso un tubo andova as peul gavesse l'aria e andova la balin-a a casca, i vëddrìo che ij cont a tornerio giust. Antlora as podrìa dedùve che l'aria a fà resistensa e as podrìa pensè a coma costa

resistensa a fonsion-a, scrive na lèj e organisé n'esperiment për vëdde se a l'é giusta (a la fin as trovrìa che a va bin na lèj andova la resistensa a l'é na fonsion dla velocità al quadrà).

Ël modèl dl'acelerassion costanta, ant l'aria, a l'é nen giust, ò méj, a l'é nen complet. Ma 'l pì dle vire a basta për dé la precision che a serv an pràtica, e a-i é nen da manca ëd dovré na lèj pì complicà. La Fìsica, però, a venta nen che as contenta, coma i l'oma già vist ant l'Achit.

Tuti ij parameter che a anterven-o ant ij calcoj a son stàit misurà an manera pì ò manch precisa. Ël temp e sò intervaj a dipendo da la precision ëd nòstra mostra, che a venta che i conosso, l'ëspassi a dipend da coma i savoma lese la posission dl'ogét an sla foto, e sòn a dipend da l'esperimentator. La lòsna che a anlumina l'ogét a venta che a dura un dàit interval ëd temp, dësnò la pelicola as ampression-a nen a basta, e st'interval a dà n'imàgine bogià dl'ogét, che a arzulta pì long ëd lòn che a l'é. Ëd sòn as peul ten-e cont, ma a venta valuté che eror as fà e coma peui, ant ij calcoj, j'eror dij diferent parameter misurà a influisso. Sòn i lo vëddoma sì sota, andova i parloma propi dj'eror, che a son na part bin amportanta dla misura, coma i l'oma vist.

J'eror e soe composission

Fasend na misura as peulo avèj doi tipo d'eror, e pì la misura a l'é indireta e pì a l'é fàcil che as gionto d'eror dij doi tipo. La còsa a dipend ëdcò da le possibilità dj'ëstrument che as deuvro.

La precision dj'ëstrument

Prima ëd tut a venta conosse jë strument a disposission. Pr'esempi, se për misurè un temp as deuvra n'aparechiatura con n'ossilator al quàrs, a venta consideré che la frequensa carateristica dël cristal a l'é conossùa con na dàita incertëssa, e che sta frequensa a peul cambié d'un pòch an fonsion dle condission d'usagi. Se la precision ëd la frequensa media a l'é garantìa ëd 50 part për milion, e se ëdcò le possibij variassion a son garantìe inferor a 50 part për milion, i savoma che a venta sempe consideré, su ògni misura, na possibilità d'eror ëd 100 part për milion[4]. Se peui nòstra aparechiatura a arleva ij temp mach ògni milesim d'ëscond, antlora cost a l'é n'àutr eror che i dovoma consideré. Se con cola aparechiatura i misuroma un temp ëd 23 second, i savoma già che sto temp a podrìa esse sbalià fin-a a 23·100 = 2500 milionesim d'ëscond, pì un milesim d'ëscond che a l'é dàit da l'andeterminassion dël moment ëd cand ël conteur a scata, con n'eror total possibil ëd *3,5 ms*.

La division la pì cita ëd n'ëstrument bin fàit a dovrìa corisponde a soa precision. As peulo valutè valor medi pì precis, ma a venta sempe ten-e cont che l'eror possibil a l'é almanch col corispondent a la precision dlë strument.

Tut andova a l'é possìbil, peui, a venta fé cole coression che as peulo calcolé. I podoma pr'esempi supon-e, sensa adéss pensé a dë strument eletrònich che a peulo esse motobin precis cand a son dovrà ant la manera giusta, ëd vorèj misuré la pression con un baròmeter a mercuri. Prima ëd tut a venta che i penso a la tension ëd surfassa dël mercuri e sò comportament al pont ëd congiunsion mercuri-veder (dzora a-i é 'l veuid) e ten-e cont che l'autëssa "giusta" dla colòna a riva a na dàita mira dël menisch. La scala a venta peui che a sia butà an manera 'd parte con precision dal pèj lìber dla vasca 'd mercuri, ma a basta nen, dal moment che nòstr baròmeter a l'ha la scala tarà a na dàita temperatura. Se la scala a l'é, pr'esempi, d'oton, a venta ten-e cont dla diferensa fra la temperatura ëd taradura e cola dël laboratòri andova as fà la misura, dël coeficent ëd dilatassion linear dl'oton, e fé la relativa coression. L'indicassion a ven osservà con në strument òtich.

Eror sistematich.

A son coj che a ven-o provocà da amperfession ò imprecision dl'ëstrument ëd misura, da aprossimassion dla teoria e via fòrt. A son sistematich përchè as presento sempe ant l'istessa manera an tute le misure che a sio fàite con l'istess métod e j'istessi strument. Quàich vira a-i é la possibilità ëd fé

[4] Costi a son ij dàit për un normal ossilator comersial, nen da pòch, ma nen tròp car. Con cristaj bin selessionà e provà as peul avèj na precision dobia (50 p.p.m an tut). A-i son peui manere 'd misuré 'l temp motobin pì precise, ma motobin pì complicà e costose.

'd coression, quàich vira no, përchè nen sempe as conoss l'origin dë sti eror. A venta sempe serché ëd valuté coma a peulo anfluì an sla misura.

I vëddroma coma consideré j'eror cand che a l'han pì ëd na sors. L'imprecision ëd misura dël temp che i l'oma vist sì dzora (la part dàita da coma ël quàrs a l'é stàit tajà) a l'é n'eror sistematich dàit da l'ëstrument.

As peulo consideré an costa categoria j'eror che a ven-o portà da la manéra midema 'd misuré, cand pr'esempi l'introdussion ëd në strument ëd misura a pròvoca na variassion dla situassion che a ven misurà (pr'esempi un miliamperòmeter a bobin-a mòbil a càmbia d'un pòch la resistensa che la corent a treuva, e sòn a fà cambié pròpi lòn ch'i voroma misuré. Nen sempe a basta conòsse la resistensa giontà e fé la coression, përchè i podrìo travajé su un sistema nen linear ò nen conossù).

Eror casuaj (ò Eror assidentaj).

A son coj che a ven-o provocà da imprecision ëd letura dl'operator, e da tuti coj fator che a son nen prevedibij. Arfasend l'istessa misura vaire vire, contut ch'a sia fàita con j'istessi strument e ant l'istessa manera, as oten-o valor che a peulo esse pì ò manch diferent. E sòn sensa che a-i sia na rason conossùa precisa. Se stì eror a son tròp gròss (variassion gròsse su misure arpetùe) a peul esse che la manera che as deuvra për fé la misura, o jë strument midem, a sio nen coj giust.

Na valutassion dë sti eror a l'é dificil, an general, propi për soa natura e as fà, ëd sòlit, fasend vàire vire la misura, e vardand a le diferense dj'arzultà che as oten-o.

A l'é natural che sòn a val se le misure a son tante dabon e se le diferense a son nen tròp gròsse. Antlora as peul pijé coma arzultà ël valor medi dle misure e coma eror an pì ò an meno, la metà dla diferensa tra ël pì gròss e ël pì cit valor trovà.

A-i son ëdcò ëd manere pì rafinà che a peulo dé la probabilità che l'arzultà dla misura a sia comprèis ant un dàit camp. I tornroma 'ncora dòp su sti cont ëd probabilità, che fra l'àutr i l'oma già vist ant la part matemàtica, a propòsit dë statìstica.

Eror assolut e relativ

J'eror a peulo esse dàit coma **Eror assolut** opura coma **Eror relativ**. Ij prim a indico an manera direta la quantità dla grandëssa dont la misura a peul esse sbalià e j'ëscond a son ël raport fra sta quantità e ël valor dàit coma arzultà. Costi a son dàit an përsentual ò magara an "part për milion". As capiss che n'eror d'un decim ëd milim su na misura ëd tre meter a peul avèj un significà divers che l'istess eror an s'na misura ëd doi milim. I vëddroma peui che an sl'eror final ëd sòlit lòn che a conta a l'é l'eror relativ dla misura.

Ògni misura, për avèj significà precis, a venta che a arpòrta l'indicassion dl'eror possibil an sl'arzultà, e sòn a dipend da coma la misura a l'é stàita fàita e con che strument, tute còse che a deuvo esse ëdcò lor spessificà ansema ai arzultà. Vis-a-dì che j'arzultà a venta ch'a sio compagnà da na dëscrission precisa dl'esperiment e djë strument dovrà.

Composission dj'eror

Na misura, coma i l'oma dësgià dit, a peul esse direta, se a l'é ël paragon tra grandëssa e unità ëd misura, opura indireta se a ven-o misurà le grandësse parameter ëd na lege che a dà la grandëssa an misurassion.

Pì na misura a l'é indireta e pì a-i son rason d'eror. An pì, sti eror as compon-o cand le varie grandësse a ven-o adissionà, moltiplicà ò dividùe tra ëd lor.

Si sota i mostroma coma j'eror dij termo ëd partensa a influisso an sl'arzultà final, ant le vàrie operassion algébriche.

Adission e sotrassion ëd misure con un dàit eror assolut.

Se la misura **c** a l'é otnùa da le misure **a** e **b** për adission ò sotrassion, (pr'esempi na longhessa dàita da adission ò sotrassion ëd doe longhësse misurà), dal moment che as peul nen savèj se j'eror a

son an pì ò an meno, e as peul nen dì che a sio ant l'istess vers ò an vers contrari ant le doe misure, as considero ij cas pegior:

$$(c \pm \Delta c) = (a \pm \Delta a) + (b \pm \Delta b) \quad \rightarrow \quad c = a + b \quad ; \quad \Delta c = \Delta a + \Delta b$$
$$(c \pm \Delta c) = (a \pm \Delta a) - (b \pm \Delta b) \quad \rightarrow \quad c = a - b \quad ; \quad \Delta c = \Delta a + \Delta b$$

Tant ant l'adission coma ant la sotrassion ëd valor misurà, ij relativ eror as adission-o sempe për dé l'eror dl'arzultà final.

La situassion a l'é motobin sempia e për sòn a-i é nen da manca ëd fé tuti ij passagi për ij cas pegior. La figura 2 a dà n'esempi:

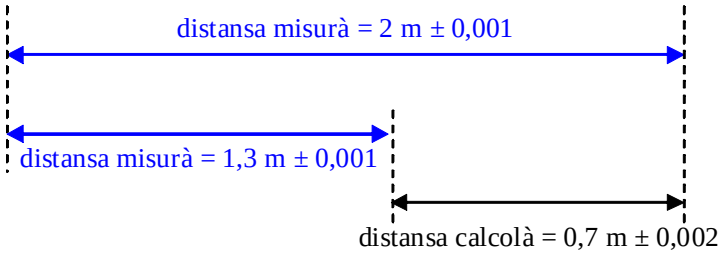


Figura 2 – Adission ëd grandësse con eror

Moltiplicassion e elevassion a potensa ëd misure con un dàit eror assolut.

Se la misura **c** a l'é dàita dal prodòt ëd le misure **a** e **b** (pr'esempi na surfassa dàita dal prodòt ëd doe longhësse), ëdcò sì as serco ij cas pegior. Le doe longhësse a podrìo esse tute e doe al limit inferior e sòn a darìa ël pì gròss eror negativ, opura tute e doe al limit superior, e sòn a darìa ël pì gròss eror positiv.

$$(c \pm \Delta c) = (a \pm \Delta a) \cdot (b \pm \Delta b)$$
$$\text{limit inferior} \; : \; (a - \Delta a) \cdot (b - \Delta b) = a \cdot b - a \cdot \Delta b - b \cdot \Delta a + \Delta a \cdot \Delta b$$
$$\text{limit superior} : \; (a + \Delta a) \cdot (b + \Delta b) = a \cdot b + a \cdot \Delta b + b \cdot \Delta a + \Delta a \cdot \Delta b$$
$$c = a \cdot b \quad ; \quad \Delta c = a \cdot \Delta b + b \cdot \Delta a$$

andova ant l'eror i l'oma trascurà 'l termo $\Delta a \cdot \Delta b$ che, për eror nen esagerà, a l'é almanch quàich òrdin ëd grandëssa pì cit che j'àutri.

I notoma che cand as pija për Δc ël segn – as oten ël limit inferior e cand che as pija ël segn + as oten ël limit superior. An general ël valor assolut ëd Δc a l'é la diferensa dij doi eror ai limit, che a ven dividùa për 2.

Për elevassion a potensa l'estension a l'é imedià:

$$(c \pm \Delta c) = (a \pm \Delta a)^2 \quad \rightarrow \quad c = a^2 \quad ; \quad \Delta c = 2 \cdot a \cdot \Delta a$$
$$(c \pm \Delta c) = (a \pm \Delta a)^3 \quad \rightarrow \quad c = a^3 \quad ; \quad \Delta c = a^2 \cdot \Delta a + 2 \cdot a^2 \cdot \Delta a = 3 \cdot a^2 \cdot \Delta a$$
$$(c \pm \Delta c) = (a \pm \Delta a)^n \quad \rightarrow \quad c = a^n \quad ; \quad \Delta c = n \cdot a^{n-1} \cdot \Delta a$$

Coma prima, as trascuro ij termo andova a-i son le porense dl'eror ëd partensa, che a dvento motobin pì cit dël termo prinsipal d'eror.

Se, pr'esempi i l'oma $a = 15 \pm 0{,}1$ e i calcoloma $c = a^2 = 225$ i l'oma che $2 \cdot a \cdot \Delta a = 3$ mentre i l'avrìo che $\Delta a \cdot \Delta a = 0{,}01$.

La figura 3 a dà n'esempi ëd prodòt ëd grandësse con eror.

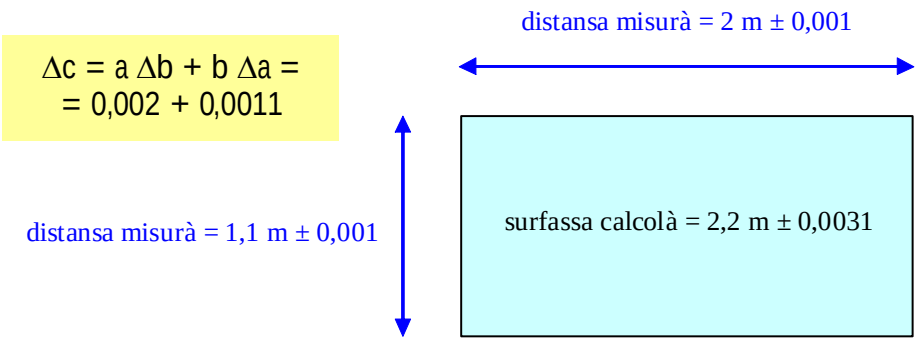


Figura 3 – Prodòt ëd grandësse con eror

A sta mira i notoma che, suponend ëd calcolé 'l volum d'un cubo, se i l'oma misurà 'l lat coma $a = 10 \pm 0{,}1$ cost a l'ha n'eror relativ $\varepsilon_r = 0{,}1/10 = 0{,}01$. Ël volum $c = a^3 = 1000$ a l'ha n'eror assolut $\Delta c = 3a^2 \Delta a = 300 \cdot 0{,}1 = 30$ e donca n'eror relativ $\varepsilon_r = 30/1000 = 0{,}03$ che a l'é tre vire pì gròss ëd col ëd nòstra misura 'd partensa.

Division ëd misure con un dàit eror assolut.

Se la misura **c** a l'é dàita dal rapòrt ëd le misure **a** e **b** (pr'esempi na densità dàita da na massa dividùa për un volum), ëdcò sì as serco ij cas pegior.

Sì l'arzultà pì cit as treuva cand ël dividend a l'é minim e ël divisor a l'é massim, mentre, al contrari, l'arzultà pì gròss as treuva cand ël dividend a l'é massim e ël divisor a l'é minim.

$$(c \pm \Delta c) = \frac{(a \pm \Delta a)}{(b \pm \Delta b)}$$

$$\text{limit inferior} \quad : \quad \frac{(a - \Delta a)}{(b + \Delta b)} = \frac{a \cdot b - a \cdot \Delta b - b \cdot \Delta a + \Delta a \cdot \Delta b}{b^2 - (\Delta b)^2}$$

$$\text{limit superior} \quad : \quad \frac{(a + \Delta a)}{(b - \Delta b)} = \frac{a \cdot b + a \cdot \Delta b + b \cdot \Delta a + \Delta a \cdot \Delta b}{b^2 - (\Delta b)^2}$$

$$(c + \Delta c) - (c - \Delta c) = 2 \cdot \Delta c = \frac{a \cdot b + a \cdot \Delta b + b \cdot \Delta a + \Delta a \cdot \Delta b}{b^2 - (\Delta b)^2} - \frac{a \cdot b - a \cdot \Delta b - b \cdot \Delta a + \Delta a \cdot \Delta b}{b^2 - (\Delta b)^2}$$

$$c = \frac{a}{b} \quad ; \quad \Delta c = \frac{a \cdot \Delta b + b \cdot \Delta a}{b^2 - (\Delta b)^2}$$

I notoma che se l'eror an sla misura **b** a l'é nen esagerà, ël denominator dl'espression dl'eror a l'é an pràtica $\mathbf{b^2}$.

Se pr'esempi $b = 10 \pm 0{,}1$ i l'avroma $b^2 = 100$ mentre $(\Delta b)^2 = 0{,}01$

La figura 4 a arpòrta n'esempi.

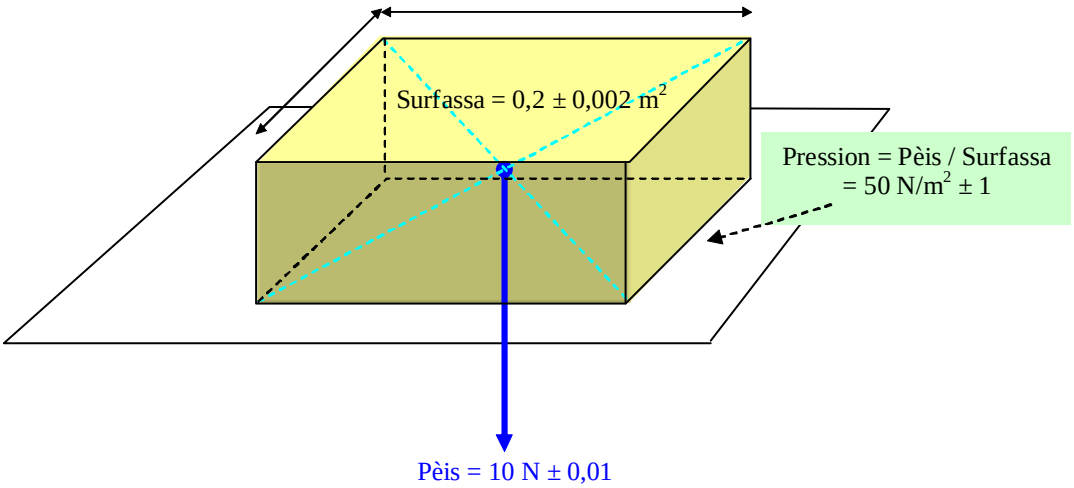


Figura 4 – Division ëd grandësse con eror

La precision – n'àutr esempi

Për vëdde la precision che as peul oten-e ant na misura, e coma a peulo esse dàit dj'arzultà përchè a sio significativ, i foma n'autr esempi, andova i suponoma ëd vorèj misurè la densità d'un fil metàlich, che i savoma avèj na session sircolar. Për nen fé le còse tròp dificij, i suponoma na session sircolar përfeta e costanta.

Arcordoma che la densità **ρ** a l'é la massa **m** për unità ëd volum **v**. $\rho = \frac{m}{v}$.

Suponoma d'avéj a disposission un regol d'un meter milimetrà, un càlibro con precision d'un ëd vint ëd milim, na bilansa analìtica. I partoma con sòn e peui i vëddroma se stì strument a peulo basté, opura a venta trovene ëd pì precis.

I misuroma la longhëssa dël fil con ël meter milimetrà e i trovoma $L = 0{,}976\ m \pm 0{,}001$. Dal moment che la pì cita division ëd nòstr meter a l'é un milim a veul dì che soa precision a l'é cola e a venta che i ten-o da cont l'eror d'un milim an pì ò an meno.

Për ël diameter dël fil i provoma a dovré ël càlibro, e prima ëd tut i controloma che ël fil a sia dabon sircolar e che ël diameter a sia costant an tute le session e tute le diression. Suponoma d'avèj fàit bastansa ëd misure për esse sicur e d'avèj sempe trovà l'istess valor ëd $d = 0{,}8\ mm\ (8 \cdot 10^{-4}\ m)$. Dàita la precision ëd nòstr càlibro i dovoma scrive $d = 0{,}8 \pm 0{,}05\ mm$.

Còs a càpita a l'eror se dal diameter i voroma arcavé la session? La session s a val $\pi d^2/4$ e sicoma nòstr d a peul esse da *0,75* a *0,85* milimeter, l'eror an sla session a peul $\boldsymbol{esse \pm 2 \cdot d \cdot \Delta d \cdot \pi/4 = \pm 0{,}063\ mm^2}$ contra un valor dla session $0{,}503\ mm^2$. Antant as vëdd che l'eror an sla session a pèisa motobin ëd pì che col an sla longhëssa, beleché costa a sia staita misurà con n'ëstrument nen vaire precis (*±12,5 %* an sla session contra *±0,1 %* an sla longhëssa) e peui i podoma dì che sta misura a sarìa tròp pòch precisa, se pr'esempi ël but a fussa col ëd trové le persentuaj d'òr e d'aram ëd la lega dont ël fil a l'é fàit.

Suponoma antlora d'avèj cambià strument e che a la fin i peusso stabilì che ël diameter a l'é *0,82 ± 0,005 mm*. Sòn a përmëtt ëd calcolé ël volum v dël fil coma:

$$s = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi}{4} \cdot \left(d^2 \pm 2 \cdot d \cdot \Delta d\right) = 0{,}498 \pm 0{,}008 \quad \left[mm^2\right]$$

$$v = s \cdot l = (s \pm \Delta s) \cdot (l \pm \Delta l) = s \cdot l \pm (l \cdot \Delta s + s \cdot \Delta l) =$$

$$= 486{,}048 \pm (976 \cdot 0{,}008 + 0{,}498 \cdot 1) = 486 \pm 8{,}3 \quad \left[mm^3\right]$$

A dispét dla precision dl'ëstrument dovrà, a l'é ancora sempe la misura dël diameter che a dà problema e a sbassa la precision. Ant ij calcoj a l'é inùtil ten-e cifre decimaj pì cite dla precision. Lòn che i l'oma trovà a dis che a serv nen misuré la massa dël fil con na precision tant àuta, vist che ël volum a l'é conossù con precision pitòst bassa. Tutun vardoma coma a fonsion-a na bilansa analìtica, che as vëdd, schissà, an figura 5.

La figura a mostra un disegn motobin semplificà 'd na bilansa analitica. Costa a ven costruìa ant la manera ël pì possibil precisa, e con ëd vis ëd taradura për echilibréla a veuid. Ij doi brass a son teoricament fàit longh istess, e ij cotéj d'apògg e pivò a son ël pì possibil paraléj, ma j'eror ëd costrussion a peulo nen esse d'autut eliminà. Na bilansa d'ëstò tipo, a ven fàita fonsioné ant na guerna ëd véder, për nen che le cite corent d'aria a peusso fé sbalié la misura.

Për carié e dëscarié ij piat a-i son ëd fèrm che a lasso nen bogé 'l geugh. Sòn a serv a nen fé seurte, a rason ëd quàich colpet, ij cotej da soe sede e roviné ij fij. Gavand stì fërm dosman, la bilansa a comensa a bautié lìbera.

Prima ëd tut as lìbera ël geugh a veuid. A sarìa tròp longh speté che la bilansa as fërma (j'atrit a son aruvù al mìnim) e donca as arleva la posission che la gucia a pija da na part (suponoma a drita) an sla scala graduà, an bass, *d1* (prima posission a drita), peui cola che a pija da l'àutra *s* (posission a snistra) e peui torna cola che a pija da la prima part *d2* (sconda posission a drita). Le division ëd la scala a corispondo a nèn d'àutr che n'arferiment e a son linear ma arbitrarie.

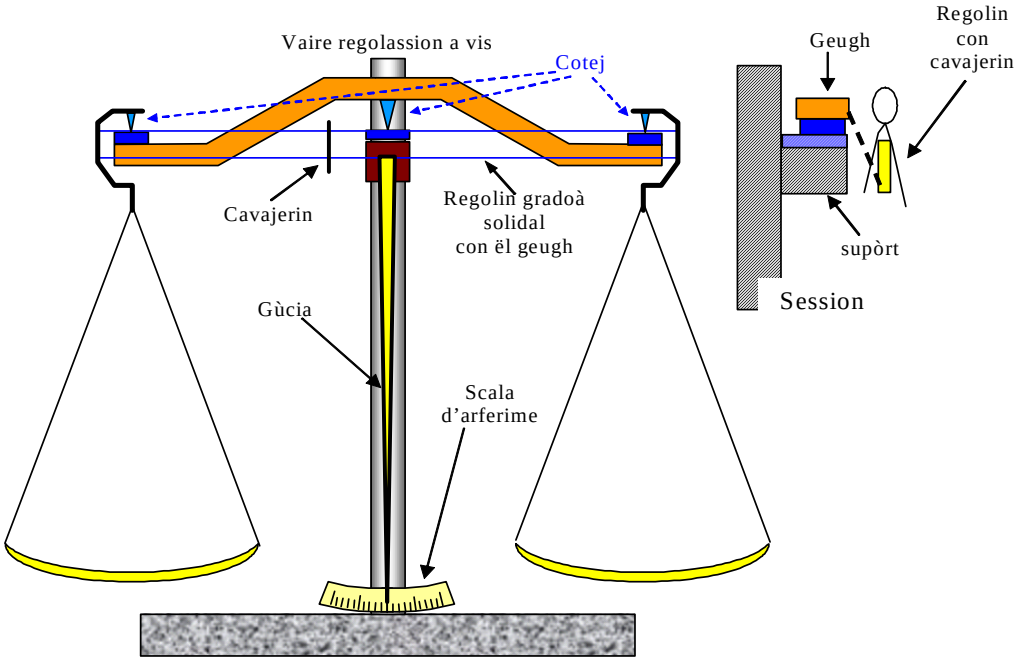


Figura 5 – Schiss ëd bilansa analìtica

Se, pr'esempi, *d1 = 4, s = -5, d2 = 3,* antlora prima as fà la media aritmética ëd le doe indicassion a drita (4 + 3)/2 = 3,5 e con sto valor ëd media as fà la media con l'indicassion dë snistra (3,5 - 5)/2 = -0,75. Sto pont a ven pijà coma ël zero (l'arferiment) a l'echilibri.

Peui a venta misuré la sensibilità. An sël geugh a-i é un regolin graduà che a va da l'un a l'àutr dij cotej che a ten-o ij piàt. An s'ëstò regolin a-i é un cit tòch ëd fil calibrà, ciamà "cavajerin" che a peul esse spostà ant un-a dle 100 division për part che a-i son. Se ël fil a l'ha massa ëd 0,01 g, ògni division a corispond a na massa ëd 0,01/100 = 0,1 mg an sël piat. Noi però i pensoma d'avèj na bilansa meno precisa, con un regolin con mach des divison për part, dal senter al cotél dël piàt, an manera che ògni divison a corisponda a 1 mg an sël piat. I l'oma peui ëd masse campion a parte da 0,01 g, da butè an sël piat. Natural che, ant l'operassion ëd prima për serché ël zero dla bilansa, ël cavajerin a ven butà al senter dël geugh.

I spostoma ël cavajerin an sla prima division e i liberoma ël geugh. Imaginoma d'avèj spostà ël cavajerin a snistra e i foma torna na letura a tre pont coma prima. Suponoma che adess i treuvo le posission *d1 = 1, s = –8, d2 = 0*. Se i ricalcoloma la posission media coma i l'oma fàit prima i trovoma -3,75 anvece ëd -0,75. Antlora i podoma dì che la sensibilità ëd nòstra bilansa a l'é 3 division për miligrama, përchè spostand ël cavajerin, la posission sentral dl'ossilassion a l'é spostasse 'd tre division.

Adess i podoma butè nòstr fil an misura s'un piàt e bilansé con le masse campion an s'l'àutr e spostand ël cavajerin. A-i é nen da manca ëd rivè a avèj ossilassion sentrà an sël pont d'echilibri che i l'avìo calcolà (-0,75). An efét a basta che le osilassion dla gucia a stago ant la scala. Suponoma d'avèj butà ël fil an misura a drita, 2,43 g ëd massa campion a snistra e d'avèj spostà a drita ëd doe division ël cavajerin e che, an coste condission, l'osilassion dla gucia a sia *d1 = –8, s = –1, d2 = –7*.

La massa echivalenta total a l'é *2,428 g* (doi miligrama a son compensà dal cavajerin da l'àutra part) e, an pì, la gucia a l'ha posission media, calcolà coma prima, *-4,25*. Ma noi i l'oma misurà prima che ògni miligrama ëd diferensa an sij doi piat a pòrta na variassion dla posission media dla gucia ëd 3 division. Adess la gucia a l'é a snistra dël pont a veuid ëd 3,5 division. Sòn a veul dì che ël piat dël fil a pòrta na massa che a l'é 1,1666. mg ëd pì ëd le masse campion echivalente.

Coma dì che la massa dël fil a l'é *2,428 + 0,001666... = 2,4296 g*. A l'é inutil butè tante cifre decimaj, përchè la precision a l'é limità da coma a peulo esse apressà le divison dla scala, sempe che i gionto nen ëcò tuti j'àutri fator.

Dal moment peui che ël volum che i l'avio otenù a l'é motobin manch precis, i podoma contentesse d'esse pessimista e considerè la massa *2,429 ± 0,002 grama*. As podrìa arfé la misura quàich vira e magara as trovrìo valor un pòch diferent. I l'avrìo parèj la possibilità ëd valuté n'eror casual, ma foma finta che l'eror ch'i l'oma vist a vada bin parèj.

I podoma antlora calcolé nòstra densità coma massa/volum, aplicand le régole viste dzora për stimé l'eror total.

I l'oma un volum $v = 486 \pm 8{,}3\ mm^3$ e na massa ëd *2,429 ± 0,002 g*. I doma sì la densità ρ dël fil an kg/dm^3 (che a echival a g/cm^3), an manera d'avèj un valor raportà a la densità dl'acqua, intèisa coma unità.

$$\rho = \frac{2{,}429}{0{,}486} = 4{,}995$$

$$\Delta\rho = \frac{2{,}429 \cdot 0{,}0083 + 0{,}486 \cdot 0{,}002}{0{,}236 - 0{,}000069} = 0{,}089$$

A la finitiva i podoma dì che për ρ a valo mach le prime 3 cifre significative $4{,}99\ g/cm^3$ e che l'eror a peul esse $\pm\ 0{,}09\ g/cm^3$. (Se i sercavo l'òr ant l'aram i podoma dì che a l'han pija-ne ëd torta, përchè la densità trovà a riva gnanca a la densità dël fer).

MISURE ËD VALOR CASUALMENT VARIABIJ

Për lòn ch'a ven da sì anans a venta ten-e cont ëd lòn che i l'oma dit a propòsit dla teorìa dle probabilità e an sla statìstica, còsa che as treuva ant le Nòte 'd matamàtica che a son socià a sto istéss pòst "web".

I foma mach un cit arciam a sto problema, che a càpita cand ël valor dla grandëssa che i misuroma a peul cambié an manera pì o manch casual, për vaire rason, antorna a un valor che a dovrìa corisponde a na misura sensa eror e che a l'é nen conossù. An figura 6 a ven mostrà un dë stì cas, da pijé mach coma agiut për mostré ël procediment, sensa déje un particolar significà fìsich.

N'àutr esempi, nen pijà da la mecànica ma che a peul spieghé méj ël significà 'd costa metodologìa, a l'é col dla misura dël ritard dla propagassion d'un pachet an sla rej Internet. Suponoma d'avèj na manera për fé stà misura con na dàita precision. An cost cas a son nen mach j'eror casuaj ò sistemàtich dla misura che a peulo dé arzultà diferent, ma ëdcò le condission istantànie dël percors che a peulo cambié an manera che a peul nen esse antevëddùa. An sto cas a anteressa avèj ëd valor d'arferiment për na valutassion dla qualità dël percors. A anteressa avèj un valor medi e na dëscrission dle variassion antorna a sto valor. Ël concét che 'd sòlit as supon giust a l'é che variassion grosse a son pòch probàbij, mentre variassion cite a càpito sovens. E costa a l'é la situassion che a ven ëd sòlit misurà. Ma tornoma a nòstr esempi.

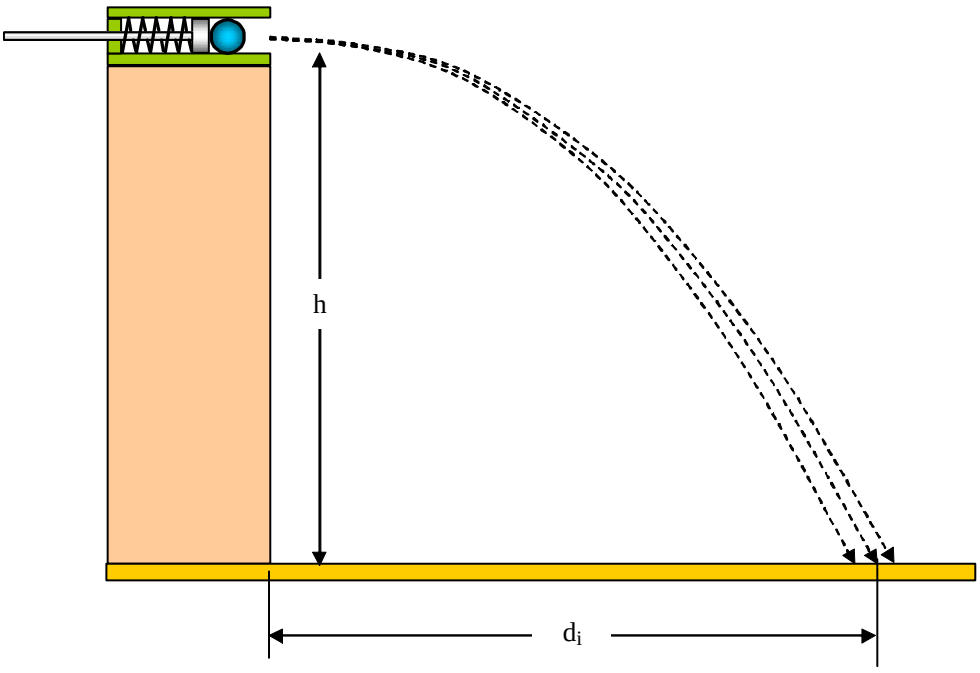


Figura 6 – Grandëssa variabil casualment.

La figura a mostra un tubet con pistoncin e mòla che a ven dovrà për tiré na bija che a dròca, parej, da na dàita autëssa *h* an s'un pian a distansa *d* da la base dël pont ëd partensa. Ël tir a ven fàit sempe a l'istessa manera, ma për vaire rason la bija a casca nen sempe a l'istess pòst. A ògni tir *i* as misura na distansa d_i un pòch diversa. Imaginoma d'avèj fàit un nùmer *N* gròss ëd tir.

Se i voroma fé un gràfich dj'arzultà, i dovoma pensé che la distansa a l'é un nùmer real e donca për tanti tir che i podoma avèj fàit, a l'é bin dificil che a-i na sio doi pròpi istess. I dovoma serne n'interval Δd, che a podrìa esse dàit da la precision dël nòstr strument ëd misura, e vardé quanti tir a l'han na distansa comprèisa tra un dàit d e $d + \Delta d$ e peui i arportoma stì nùmer su un gràfich. Sempe

che N a sia bastansa gròss, i trovoma quaicòs coma an figura 7, che a l'é la distribussion ëd nòstri arzultà. I ciamoma "**classe**" ognidun-a dle colòne che i l'oma disegnà, ël mùmer d'event che i l'oma contà tra d_i e $d_i + \Delta d$ a l'é la numerosità dla classe.

Ël valor sentral ëd la classe la pì numerosa a ven considerà, sempe a meno dël Δd che i l'oma suponù, ël valor che as presenta con la pì àuta frequensa, che ëd sòlit a l'é vers ël més dla distribussion e a ven ciamà **mòda**. An figura i l'oma indicàlo con ël simbol d_0. I l'oma peui, për d, un valor minim d_{min} e un valor massim d_{max}. A-i é peui ëdcò un valor ëd d che i ciamoma d_m, che a divid ël campion misurà an doe part uguaj (ël numer dij valor pì bass che d_m a l'é l'istess dël numer ëd valor pì àut che d_m). Sto valor a l'é ciamà **median-a**.

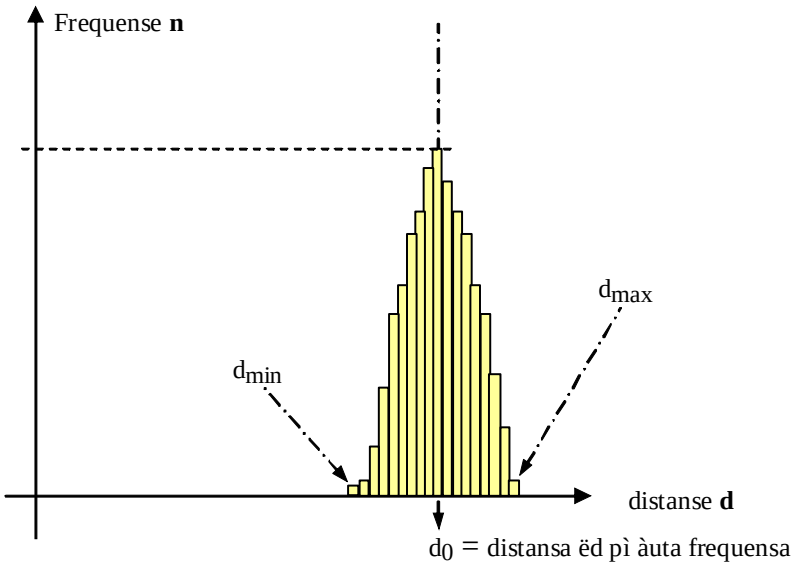


Figura 7 – Distribussion dj'arzultà

An sël nòstr campion ëd valor d_i a peulo esse fàite d'ëstatistiche che a dan n'idèja nùmerica ëd l'andament dla distribussion. Ciamoma, coma prima, d_i la distansa misurà ant la preuva che a fà i, con x_k ël valor sentral dla classe che a fa k, con f_k la numerosità dla classe che a fa k e con n ël nùmer dle classi.

Adess i pensoma che a esista un tir sensa eror con na misura ëd distansa sensa eror che a corisponda a la **distansa vera** d_v che a sàrìa prodòta da la fòrsa dla mòla, e che tute le misùre diverse da stà distansa a sio conseguensa ëd quàich eror, indipendent l'un da l'àutr. Peui pensoma che ël nùmer N ëd preuve a sia sens'àutr gròss, an manera da podèj supon-e che la numerosità f_k ëd na classe, dividùa për ël nùmer N dle preuve, a corisponda a la probabilità p_k che un tir qualonque a casca ant la classe k.

As serca ël valor ver, l'eror possibil e la probabilità che l'eror a sia col che i suponoma e che ël valor vér a staga ant ël camp che i l'oma trovà. I voroma nen fé, ambelessì, tuta la teorìa dj'eror, ma i arportoma mach quàich definission e arzultà, an manera ëd savèj qual a l'é ël problema dle misure e com as arzòlv. Për tut ël rest i armandoma 'ncora a lòn ch'i l'oma dit ant le Nòte 'd Matemàtica.

Valor medi dël campion: $$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^{N} d_i}{N} = \frac{\sum_{k=1}^{n} (f_k \cdot x_k)}{\sum_{k=1}^{n} f_k} = \sum_{k=1}^{n} (p_k \cdot x_k)$$

Cand che N a l'é gròss, ël valor medi $\bar{d}$ a tend al valor ver d_V .

A ven peui definì, un parameter ciamà "**variansa**" che a l'é dàit da la media dij quadrà dle diferense tra ij valor e ël valor medi. Ël fàit che as deuvra ël quadrà a veul dì che tute le diferense, positive ò negative che a sio, a anfluisso an sël parameter a l'istessa manera e as cancelo nen l'un-a con l'àutra.

$$\text{Variansa dël campion}: \quad \sigma^2 = \sum_{k=1}^{n}\left(x_k^2 \cdot p_k\right) - \bar{d}^2 = \frac{1}{N}\cdot\sum_{i=1}^{N}\left(d_i - \bar{d}\right)^2$$

Se i suponoma che ël campion a sia nen basta gròss e i voroma avèj na stima dla variansa possibil con ancora d'àutre misure (campion che a rapresenta la popolassion ma a l'é nen tuta la popolassion), la teoria a pòrta a scrive, për sta variansa stimà an s'na popolassion d'un nùmer pì gròss ëd tir:

$$\text{Variansa dla popolassion}: \quad \sigma^2 = \frac{1}{N-1}\cdot\sum_{i=1}^{N}\left(d_i - \bar{d}\right)^2$$

As vëdd bin che an pràtica për N già mach bastansa gròss, le còse a cambio bin pòch. Stà variabilità a l'ha le dimension d'un quadrà ëd nòstra variabil (an nòstr cas na distansa al quadrà) e donca as preferiss dovré, coma indicator d'ësta variabilità, la radis quadrà dla variansa, che a ven ciamà "**deviassion standard**":

$$\text{Deviassion Standard} \quad DS = \sqrt{\frac{1}{N}\cdot\sum_{i=1}^{N}\left(d_i - \bar{d}\right)^2}$$

$$\text{opura} \quad DS = \sqrt{\frac{1}{N-1}\cdot\sum_{i=1}^{N}\left(d_i - \bar{d}\right)^2} \quad \text{(vëdde sì dzora)}$$

Na deviassion standard cita a veul nen dì che a-i sio nen ëd valor motobin divers dal valor medi, ma che la pì part ëd le misure fàite a l'é davsin al valor medi.

A l'é bastansa intuitiv che se le variassion dle diverse misure a son cite, un nùmer ëd preuve nen vaire gròss a dà dësgià un valor medi che a l'é fàcil ch'a sia bin davsin al valor ver. Se anvece le variassion a son gròsse, antlora a servo motobin pì ëd misure. St'idèja a peul esse quantificà. I podoma nen esse sicur d'avèj trovà ël valor ver, ma i podoma calcolé la probabilità che sto valor a staga ant un dàit interval. D'àutra part i podoma ëdcò calcole quante preuve a venta fé përchè un dàit interval (ciamà **interval ëd confidensa**) a conten-a nòstr valor ver con na dàita probabilità.

Sti tipo ëd problema a nasso cand as veul che na misura an s'un campion parsial e nen vaire gròss a daga anformassion an s'un-a popolassion bin pì gròssa. Sovens as presenta an misure con partìcole sub-atòmiche, e a fà nen part ëd lòn che i diroma peui. Donca i andoma nen pì ancreus.

Për avèj pì d'anformassion an sj'arzultà otnù, as definiss ëdcò n'àutr parameter ciamà "**përsentil anvers**", che a dà, an përsentual, ël nùmer dle preuve che a l'han dàit n'arzultà con na diferensa dal valor medi, an valor assolut, pì grossa d'un limit ëstabilì. Se pr'esempi su 1000 peruve as oten un valor medi 1,23 meter, ël limit a l'é d'un centim e 25 preuve a l'han dàit arzulta pi cit ëd 1,13 opura pì gross ëd 1,33, ël përsentil anvers riferì a l'interval ±1 cm a sarà 0,025 che a veul dì ël 2,5 %.

Quàich problema 'd misura

Adéss is butoma ant n'àutr contést e i arpijoma na misura che i l'avìo acenàje parland ëd statìstica. I foma sòn giusta për buté an evidensa coj che a peulo esse ij problema cand as organisa n'esperiment. I suponoma 'd vorèj misuré 'l ritard e le variassion ëd ritard che ij pachet internet a sperimento su un dàit përcors fra doi pont. Sto ritard (e donca soe variassion) a peul cambié motobin da

un pachet a l'àutr, nen për d'eror ëd misura, ma pròpi për la natura dël colegament, che da 'n moment a l'àutr as treuva an situassion diferente e che as peulo nen antevëdde. Da n'àutra mira i l'oma da manca 'd conòsse 'l ritard medi, e tuti ij paràmeter dla distribussion ëd costi ritard. An anteressa 'dcò savèj cole ch'a son le variassion ëd cost ritard, su diferente scale temporaj. I introma nen ant ij particolar, che a son ròba che a rësguarda le telecomunicassion, parèj coma i stoma nen a vëdde përchè coste anformassion a son amportante.

I notoma, però, che a-i son doe variassion diferente che a son amportante. La prima i l'oma vëddula e a l'é na variassion da moment a moment, e la sconda a l'é na variassion pàsia che as arleva da n'ora a l'àutra dla giornà.

Un prim problema a l'é : Podom-ne fé na misura direta an sij pachet dël tràfich ? Na técnica a-i sarìa, ma a l'é complicà e i l'hai nen finì dë studiela cand i son andàit an pension (adéss i n-n'hai pì nen veuja). Problema un bis : se i lo fèisso, che përturbassion i antroduvrìo ant ël sistema an preuva ? Vis-a-dì : i continuerìo a misuré lòn ch'a càpita sensa misure, ò i produvrìo noiàutri ëd variassion che prima a-i ero nen ? Sì i suponoma d'avèj decidù ëd nen fé na misura direta, ma ëd dovré na sequensa 'd pachet ëd preuva (tràfich artifisssial).

Antlora a-i é lë scond problema : Com a venta che a sia fàit nòstr tràfich artifissial për comportésse, s'a l'é possibil, com ël tràfich vér ? Sto tràfich a càmbia le condission dël colegament ? A dì la vrità a-i é nen na rispòsta sodisfacenta a tute doe le costion. Prima 'd tut i podoma dì che pì nòstr tràfich artifissial a smija a col vér e pì 'ndoma a cambié le condission dël colegament. A venta peui evité che ij temp d'ariv dij pachet ëd preuva a peusso anterferì an manera nen natural con quàich fonsion dël colegament, e për sòn as deuvra 'd sòlit na sucession ëd pachet dont j'intervaj d'emission as arcavo da na distribussion ëd Poisson con na dàita durà média,

Dòp avèj valutà tute ste còse (e sì i andoma nen pì ant l'ancreus) a-i é n'ùltim problema, che a peul esse un problema comun a vàire tipo 'd misure. I suponoma d'avèj sernù 'n fluss ëd pachet ëd misura fàit, coma media, da un pachèt al second, e sòn për nen faussé 'l tràfich normal. Dal moment che le variassion ëd ritard ch'as misuro a son bin gròsse, për avèj na bon-a media a-i và quàich mijé 'd pachet, ma sòn a ciama pì che n'ora 'd misura, e an sto temp le condission dla conession a càmbio bele bin. Ij prim pachet a son stàit misurà con valor antorna a na media vera che a l'é diferenta da cola dj'ùltim pachet.

Sòn a l'era giusta për mostré ij problema che as peulo trové fasend d'esperiment, e për adèss i andoma nen pì ant l'ancreus.

ARSERCA DL'APROSSIMASSION PÌ BON-A

A l'é un métod che a peul esse dovrà cand as ëstùdia na lèj ò fenòmeno che as supon dëscrivìbil con doe variàbil dont l'un-a a dipenda da l'àutra. Se, fasend ëd misure, i podoma avèj na sucession ëd valor dla variàbil andipendenta (suponoma, pr'esempi, che a sia un temp *t*) e, për ognidun ëd costi, ël corispondent valor dl'àutra variàbil *y* (che ant l'esempi sì sota a sarà na velocità), i podrijo pensé d'arporté costi pont su un gràfich cartesian e serché la fonsion $y = f(t)$ che a passa për costi pont, e che a dëscriv nòstra lèj ò fenòmeno. Costa a sarìa "*n'interpolassion matemàtica*".

Se però i tnima cont che nòstre misure a pòrto d'eror casuaj, sta fonsion a sarìa iregolar, e i savrìo nen coma a podrìa esse diferenta da la lèj vera. A conven donca fé "*n'interpolassion statistica*" (che a l'ha un significà cand le cobie dij valor misurà a son tante). An cost cas as fà nen passé la curva dai pont misurà, (che a conten-o, macassia, d'eror casuaj) , ma fra ij pont an manera d'avèj l'aprossimassion pì bon-a possìbil.

Ant ij nòstr esempi i supunoma che a sia possibil imaginé prima na dipendensa linear e peui na dipendensa 'd tipo quadràtich, e peui i faroma quàich considerassion an sla manera 'd verifiché che la suposission ch'i loma fàit an sël tipo 'd dièpendensa a va bin ò pà.

I foma 'l prim esempi, un pòch particolar, con l'esperiment arpresentà an figura 8. I osservoma un balin che a cala an s'un pian inclinà e i misuroma soa velocità an quatr pont (diroma peui coma), për deduve che acelerassion, component ëd cola ëd gravità, a fa bogé ël balin. I foma finta ëd nen savèj che a bastrìa misurè l'inclinassion.

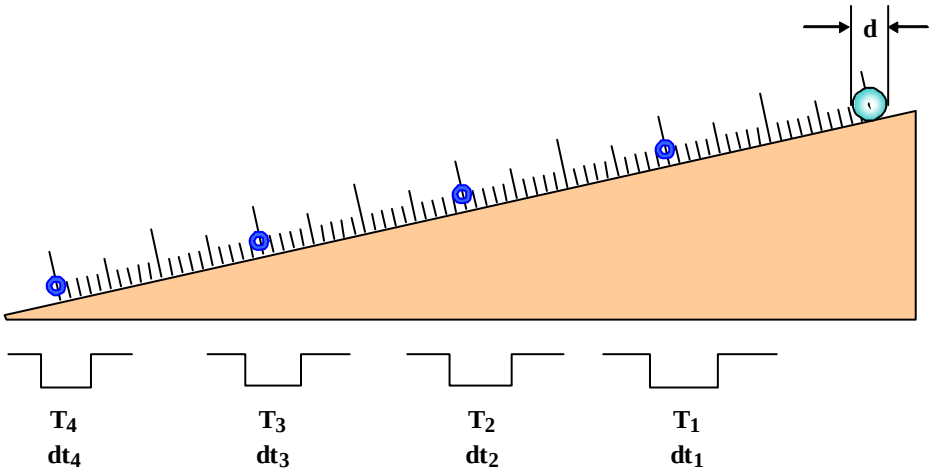


Figura 8 – N'esperiment ëd misura d'acelerassion.

A-i é un conteur che a part cand ël balin a ven liberà (as supon che a-i sia nen d'artit). Ij quat pont ëd misura a son quatr iluminator socià a quatr celule. Ël balin a passa tra iluminator e celula anterompend ël ragg. Le celule a l'han n'interussion da cand ël bòrd dël balin a riva a l'autëssa 'd sò senter fin-a a cand për l'istess pont a passa l'ëscond bòrd. Për ògni celula a ven registrà ël temp dël prinsipi dl'interussion e la durà dl'interussion. A l'é ciàir che se ël balin a va pian l'interussion a l'é pì longa, se a và fòrt a l'é pì curta. Ël diameter dël balin a l'é conossù e ël senter dël balin a l'é a la stessa autëssa dël senter dle celule.

Sòn a veul dì che ant ij quatr pont andova a-i son le celule i podoma misurè la velocità dël balin dividend sò diameter **d** për la durà dl'interussion $\mathbf{dt_i}$.

$$v_1 = \frac{d}{dt_1} \quad ; \quad v_2 = \frac{d}{dt_2} \quad ; \quad v_3 = \frac{d}{dt_3} \quad ; \quad v_4 = \frac{d}{dt_4}$$

Ste velocità a son cole medie ant l'interval d'interussion e antlora, vist che i savoma che la velocità a chërs linearment, noi i-j assegnoma al temp $\mathbf{T_i + dt_i/2}$.

Na misura coma costa a l'ha un bel pòch d'imprecision. Noi i suponoma d'avèj fàit la misura e d'avèj trovà ij valor ëd velocità $\mathbf{v_i}$, ognidun a un temp $\mathbf{T_i}$ che i arportoma an s'un gràfich andova i l'oma butà ij temp an sl'ass dj'assisse e le velocità an sl'ass dle ordinà, coma an figura 9. Foma ëdcò finta che ij pont ëd misura a sio pì che quatr e suponoma che a sio 8. Is preocupoma nen dle distanse, vist che i vardoma ëd velocità rispét al temp. Se i l'oma trovà certi temp a veul dì che a-i ero certe distanse. Giusta për fé ij cont da arporté an sël disegn, sì i suponoma na celula òngi 30 cm.

La teoria, an cost cas, a l'é cola ëd trové la riga drita che a aprossima méj ij pont trovà e per fé sòn as serca cola la riga andova l'adission dël quadrà dj'ëscart $\mathbf{\Delta v_i}$ indicà an figura, a l'é la minima. Na riga drita generica a l'ha la forma $\mathbf{y = a \cdot x + b}$ e as trata ëd trové **a** e **b**.

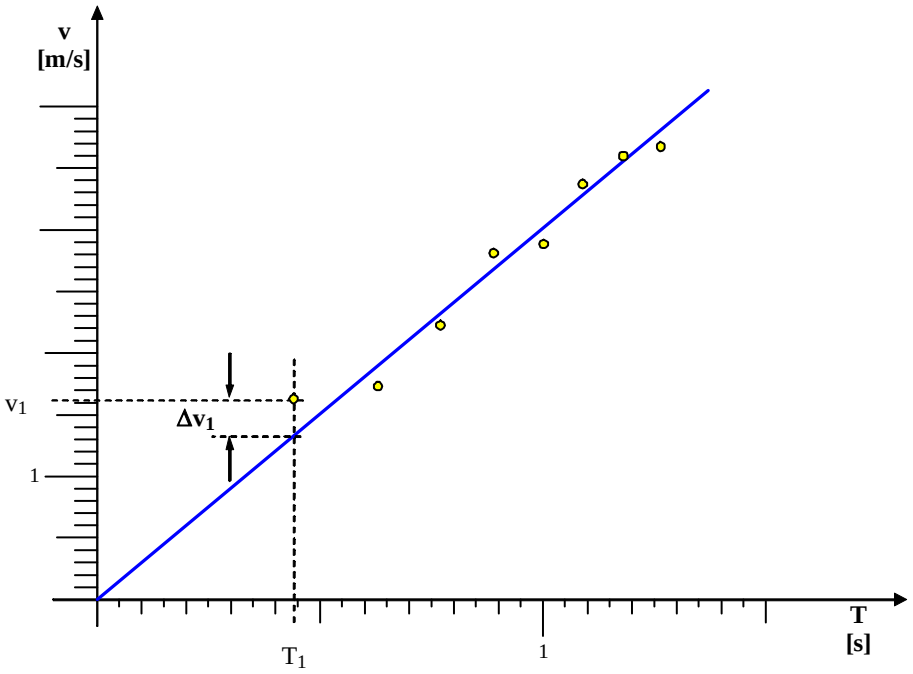


Figura 9 – Riga drita dij mìnim quadrà

An nòstr cas i savoma già che **b** a venta che a sia zero, përchè nòstra riga a passa për l'origin, dal moment che al temp 0 ëdcò la velocità a l'é 0. Se ël nùmer ëd pont trovà a l'é bastansa gròss, e l'aprossimassion linear a va bin, la riga a passrà ëdcò dal pont $(\bar{x}, \bar{y})$ che ant ël cas che i stoma vardand a son rispetivament la media dij temp ëd passagi e la media dle velocità misura.

A noi a anteressa trové ël coeficent **a**, che an sto cas a dà diretament l'acelerassion, essend ël raport tra na variassion ëd velocità e l'interval ëd temp andova la variassion a l'é capità.

Ant ël cas dl'esempi as treuva facil che $a = \frac{\bar{y}}{\bar{x}} = \frac{\bar{v}}{\bar{T}}$; $b = 0$, ma ant un cas general as treuva:

$$a = \frac{\sum[(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})]}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{e da sì} \quad b = \bar{y} - a \cdot \bar{x}$$

Ant ël cas ëd l'esempi as troverìa $a = 3$, (vist ël gràfich) che ant ësto cas a l'avrìa ël significà ëd $3\ [m/s^2]$. La relassion sercà a sarìa $v = 3 \cdot t$.

Për trové, an general, j'espression për **a** e **b**, i podoma parte da le n cobie x_i , y_i che i l'oma trovà con la misura, e consideré che nòstra riga drita $y = a \cdot x + b$, an corispondensa con ògni x_i a darìa un valor y diferent da col misurà y_i , con "*n'eror*" $\varepsilon_i = a \cdot x_i + b - y_i$. Consideroma donca l'adission S dël quadrà 'd costi eror $S = \sum_{i=1}^{n} \varepsilon^2{}_i = \sum_{i=1}^{n} \left(a \cdot x_i + b - y_i\right)^2$. S a peul esse considerà na fonsion ëd **a** e **b**, dla moment che x_i , y_i a son coj ëd nòstra misura e donca a son conossù. As trata donca 'd tové 'l mìnim dla fonsion, e për sòn a venta ch'a sia $\frac{\partial S}{\partial a} = 0$; $\frac{\partial S}{\partial b} = 0$. As oten:

$$\frac{\partial S}{\partial a} = \sum_{i=1}^{n} 2 \cdot \left(a \cdot x_i + b - y_i\right) \cdot x_i \quad \text{e 'dcò} \quad \frac{1}{2}\frac{\partial S}{\partial a} = \sum_{i=1}^{n} \left(a \cdot x_i + b - y_i\right) \cdot x_i$$

$$\frac{\partial S}{\partial b} = \sum_{i=1}^{n} 2 \cdot \left(a \cdot x_i + b - y_i\right) \quad \text{e 'dcò} \quad \frac{1}{2}\frac{\partial S}{\partial a} = \sum_{i=1}^{n} \left(a \cdot x_i + b - y_i\right)$$

Ugualiand a zero e arzolvend le equassion, (sistema 'd doe equassion an doe incògnite) con ij sòlit passagi albébrich, as treuvo le fòrmule che i l'oma scrivù dzora.

Adéss i foma n'esempi d'aprossimassion pì nen con na riga drita ma con na paràbola, e për sòn i podoma consideré l'esperiment che i l'oma ilustrà an figura 1, pijand coma variàbil andipendenta ël temp t dle lòsne e coma variàbil dipendenta la posission s dla balin-a arlevà da la fòto. I l'oma torna na sucession ëd cobie t_i , s_i , e nòstra genérica paràbola $y = a \cdot x^2 + b \cdot x + c$, che i arportoma, an manera andicativa, an figura 10.

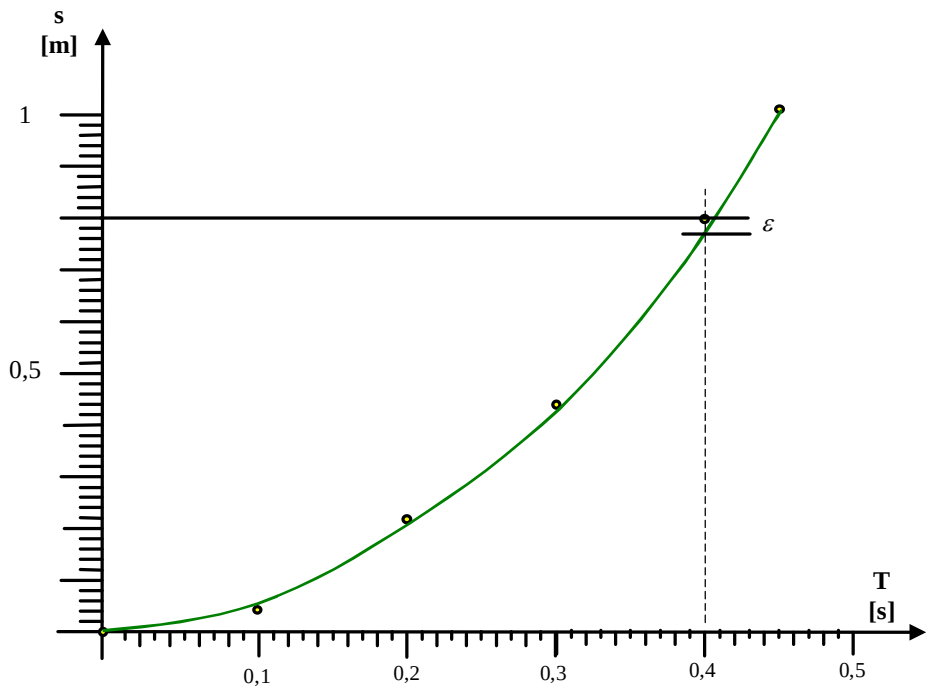


Figura 10 - Paràbola dij mìnim quadrà

An cost cas l'adission dj'eror al quadrà a sarà fonsion dle tre variàbij a , b , c , vis-a-dì ch'i l'avroma *S(a, b, c)*, che a sarà $S(a,b,c) = \sum_{i=1}^{n} \left[\left(a \cdot x^2 + b \cdot x + c \right) - y_i \right]^2$

As trata donca 'd trové 'l mìnim dla fonsion e donca: $\frac{\partial S}{\partial a} = 0$; $\frac{\partial S}{\partial b} = 0$; $\frac{\partial S}{\partial c} = 0$. Ëdcò ambelessì i l'oma un sistema linear ant le tre variàbij a , b , c , fàit da le tre equassion:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{n} \left[y_i - \left(a \cdot x^2 + b \cdot x + c \right) \right] \cdot x_i^2 = 0 \\ \sum_{i=1}^{n} \left[y_i - \left(a \cdot x^2 + b \cdot x + c \right) \right] \cdot x_i = 0 \\ \sum_{i=1}^{n} \left[y_i - \left(a \cdot x^2 + b \cdot x + c \right) \right] = 0 \end{cases} = \begin{cases} \sum_{i=1}^{n} y_i x_i^2 - a \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i^4 - b \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i^3 - c \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i^2 = 0 \\ \sum_{i=1}^{n} y_i x_i - a \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i^3 - b \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i^2 - c \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i = 0 \\ \sum_{i=1}^{n} y_i - a \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i^2 - b \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i - c \cdot n = 0 \end{cases}$$

e da sì as arcavo a , b , c .

I l'avìo già vist coste còse an parland dë statìstica. Sòn a l'é lòn ch'i vorìo dì su costi argoment. Se a-i sarà da manca 'd gionté quaicòs, i lo faroma an sël moment.

PROCEDURE D'ESPERIMENT E ANÀLISI STATÌSTICA

I podoma fé 'l diagrama sì sota, dle procedure che a peulo esse seguìe cand as veul verifiché na teorìa, n'ipòtesi 'd travaj e via fòrt.

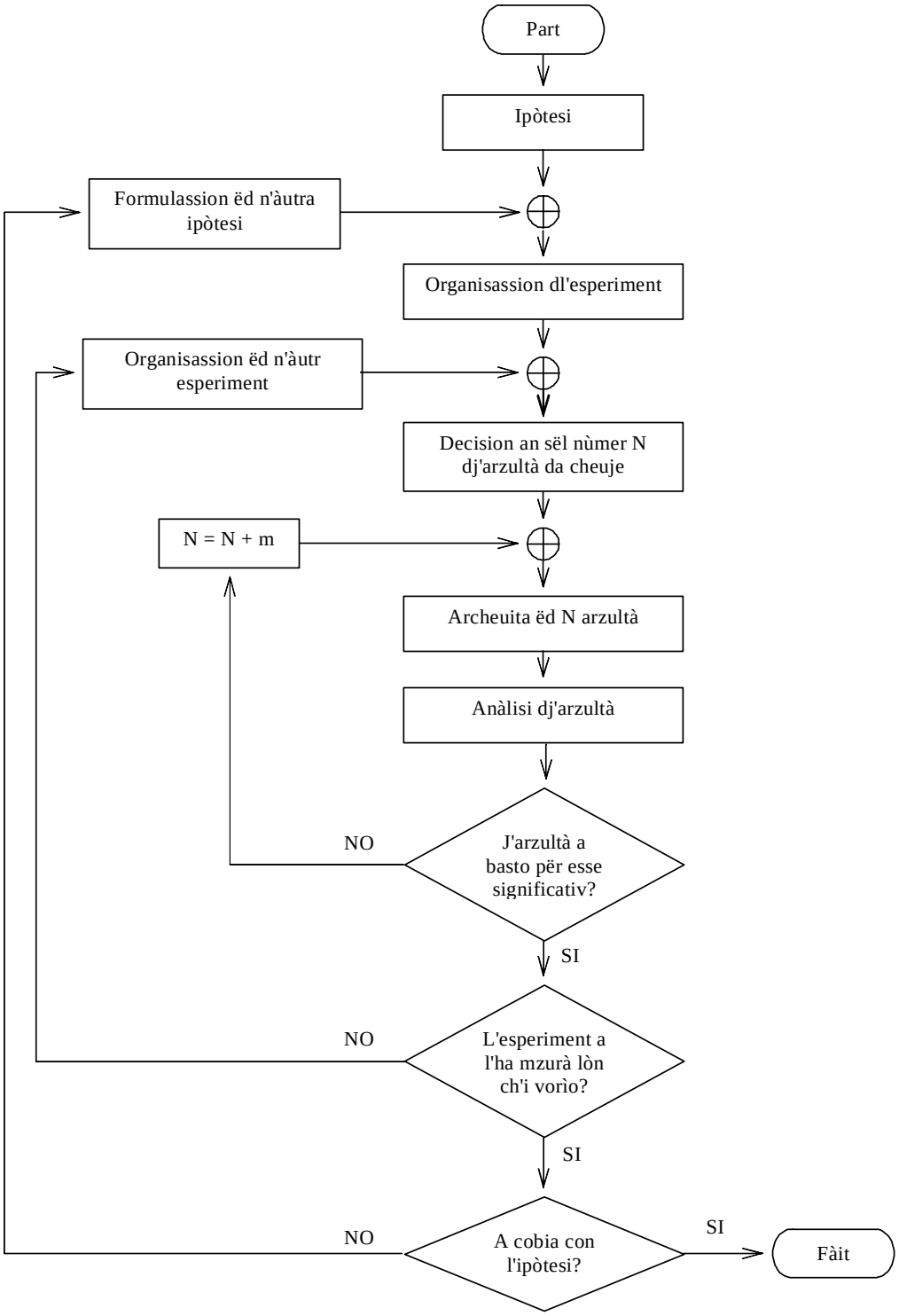


Figura 11 - Fluss dle procedure për n'esperiment

Pàgina lassà veuida apòsta

N'ÙLTIM ESPERIMENT

I provoma a vëdde se i podoma misuré l'acelerassion ëd gravità con n'esperiment dël tipo 'd col che i l'oma fàit an prinsìpi dë ste nòte.

A l'é natural che, dal moment che l'esperiment i lo anmaginoma, i suponoma che j'arzultà trovà a sio coerent con lòn ch'i voroma trové, ma a son pròpi coma coj che as podrìo trové dabon. I suponoma che la lèj a sia nen da verifiché, ma che i veujo mach trové 'l valor ëd ***g***.

I consideroma donca na balin-a che a casca da diferente autësse, che a ven-o misurà ògni vira con un méter. Ël temp che la balin-a a-i buta a casché a ven misurà da nòsta mostra eletrònica, che i vardoma d'ilustré ambelessì (da noté che as trata 'd n'aparéchio ch'i l'hai pensaje bele che adéss, ma a l'é rasonà e i suponoma ch'a fonsion-a). An figura 12 i l'oma lë schema.

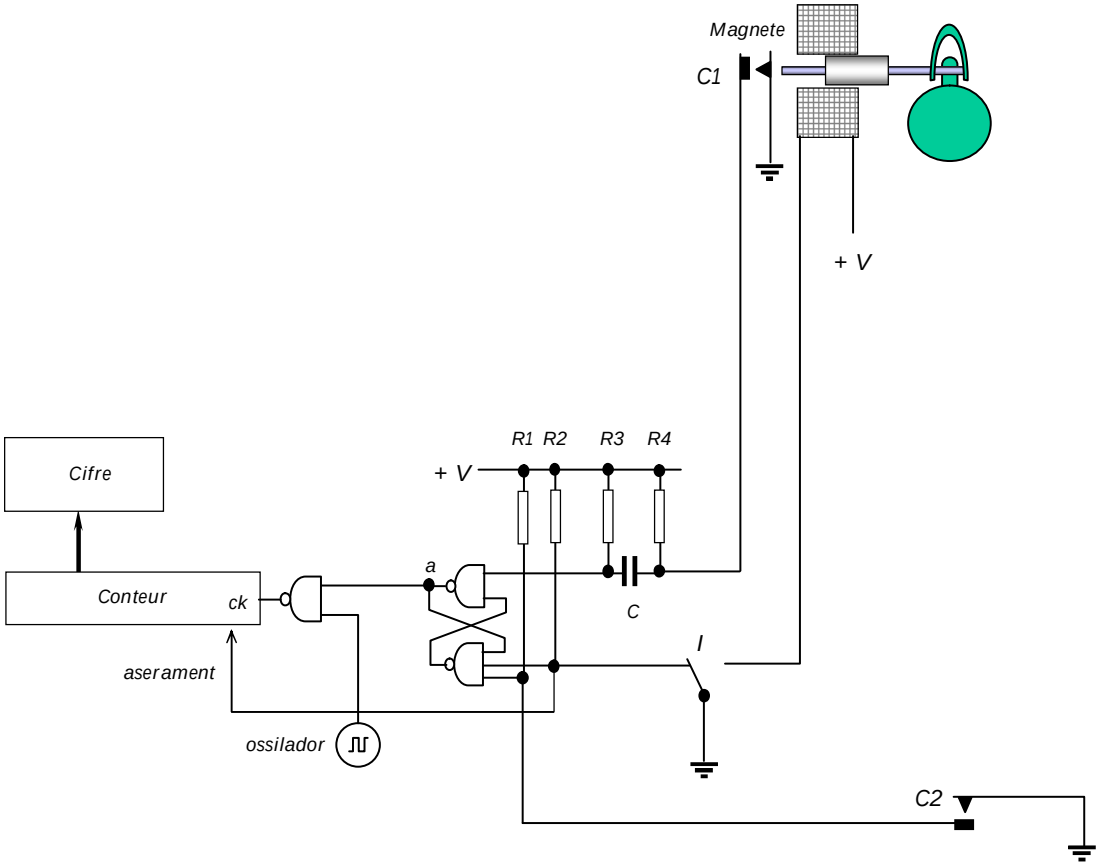


Figura 12 - Misura dël temp ëd cascà

I vardoma ampréssa com a peul fonsioné. An condission d'arpòs l'interutor ***I*** a ten na massa an sl'intrada inferior dël bistabil an manera che an sël pont ***a*** a-i sia un 0 che a lassa nen passé l'onda dl'ossilador vers ël conteur. Sempe l'interutor I a ten ël conteur a zero.

Comutand l'interutor ***I*** as gava 'l blòch al bistàbil e al conteur, ma al moment a suced ancora gnente. L'interutor I a passa ant l'àutra posission e sì a sara 'l sircuit al magnete che a atira la barëtta 'd fer che da na part a lìbera la balin-a e da l'àutra a sara 'l contat ***C1***. Sto contat a buta na massa an sël condensator C che a trasferiss n'impuls al bistabil e a lo fà comuté. Sòn a abìlita 'l passagi dl'onda al conteur, che a comensa a conté e a conta fin-a a cand la balin-a a bat nen an sël contat ***C2***. Cost a buta na massa an sl'intrada bassa dël bistàbil che a torna 'ndarera e a fërma 'l contegg.

I comensoma a fé na valutassion dla percision ëd nòstr strument. Da cand as sara l'interutor a passa un dàit temp prima che 'l magnete as ecita (la corent a monta con na costant ëd temp che a dipend da resistensa e indutansa dël magnete midem, ma sto ritard a dà nen fastidi, dal moment che fin che l'asta a scata nen la balin-a a comensa nen a casché. L'important a l'é che cand la balin-a a dventa lìbera as sara 'l contat *C1* con n'incertëssa la pì cita possìbil. Na vira che 'l contat a l'é sarà (a basta 'l prim contat bele che a peusso essie d'arsàut) an manch d'un microsecond ël conteur a taca a conté. Se i suponoma che l'ossilador a sia a frequensa bin àuta (pr'esempi na vinten-a 'd MHz), onda pì onda meno, l'incertëssa dàita da la fase dl'onda al moment dl'abilitassion a peul esse trascurà.

L'inìssi e la fin dël contégg a peulo antroduve d'eror, che però a peulo esse bastansa bin controlà. Macassia i podoma pensé 'd rivé a fé na taradura dij geugh e via fòrt an manera d'avèj n'andeterminassion total ëd pì ò manch un su mila 'd second.

A-i é però sempe quaicòs che a podrìa produve quàich ritard nen controlàbil e che a arzulta coma se a fussa casual. Pròpi përchè i savoma nen controlélo, na manera a l'é cola 'd fé vàire preuve. Sì i sernoma na procedura coma cola ch'i dëscrivoma:

I comensoma a fé 100 preuve fasend casché la bija da un meter, peui i na foma sent fasendla casché da un meter e vintesinch, peui sempe 100 preuve da un meter e mes , peui da un e stantesich e peui da doi meter. Për ògni preuva i sercoma 'l valor medi dj'arzultà e lë scart quadràtich medi. Comensoma a fé sòn e suponoma d'avèj trovà:

Autëssa	Valor medi ëd *t*	Scart σ	Valor mìnim	Valor màssim
1,00	0,45105	0,00074	0,450	0,452
1,25	0,50503	0,00089	0,503	0,507
1,50	0,55306	0,00089	0,551	0,556
1,75	0,59712	0,00083	0,595	0,599
2,00	0,63920	0,00087	0,637	0,641

L'equassion che a anlìa autëssa e temp a l'é $s = \frac{1}{2} g t^2$. I podoma buté $z = t^2$ e peui scrive che $s = \frac{g}{2} z$ e serché la reta dij mìnim quadrà fra ij valor medi ch'i l'oma trovà. Ël coeficent angolar dë sta reta a l'é nòstr ***g***. Dal moment che sta reta a passa për l'orìgin, i l'avrìo mach da trové $\bar{s}$ e $\bar{z}$ e peui calcolé $g = 2 \cdot \frac{\bar{s}}{\bar{z}}$.

Donca i l'oma che $\bar{s} = 1{,}5$ e $\bar{z} = (t^2)_{med} = 0{,}3059114028$ con $g = 9{,}8067738656$, ma adéss a venta valuté l'eror, savend che le autëssa a son stàite valutà con la precision ëd $\pm 0{,}5\ mm$, che nòstr strument a podìa sbalié ëd $\pm 0{,}001\ sec$ e che la dispersion dij valor misurà a mostra quàich cit eror casual. I podrìo dovré la distribussion normalisà dë Student e trovè 'l livél ëd confidensa për n'interval $\pm 0{,}001\ sec$ për ël temp misurà, ma i pijoma cost coma nòstr eror, për nen féla tròp longa.

La reta dij mìnim quadrà a podìa 'dcò esse calcolà dovrand tuti e sincsent ij pont arlevà, anvece dle sinch medie ch'i l'oma dovrà noiàutri. I l'avrìo otnù l'istéss arzultà.

I l'oma vist che $g = 2 \cdot \frac{\bar{s} \pm \Delta s}{\bar{z} \pm \Delta z}$ e antlora i comensoma a valuté l'eror Δz che a sarà: $\Delta z = 2 \cdot \bar{t} \cdot \Delta t = 2 \cdot 0{,}549092 \cdot 0{,}001 = 0{,}0011$ e donca nòstr eror, calcolà con la composission ch'i l'oma vist a sò temp, për ***Δ g*** a sarà: $\Delta g = \frac{\bar{s}\,\Delta z + z\,\Delta \bar{s}}{z^2} = \pm 0{,}019 \quad \left[m / s^2\right]$

A-i son ëdcò 'd manere pì precise për misuré ***g***, e i na vëddroma peui un-a.