
Laboratorio di Data Mining e calcolo approssimato

Stefano Lacaprrara

Festival delle Scienze
Suzzara (MN) 17/11/2018



Presentazione: chi sono io



Dr Stefano Lacaprarà

stefano.lacaprarà@pd.infn.it

INFN (Istituto Nazionale Fisica Nucleare) e **università** di Padova

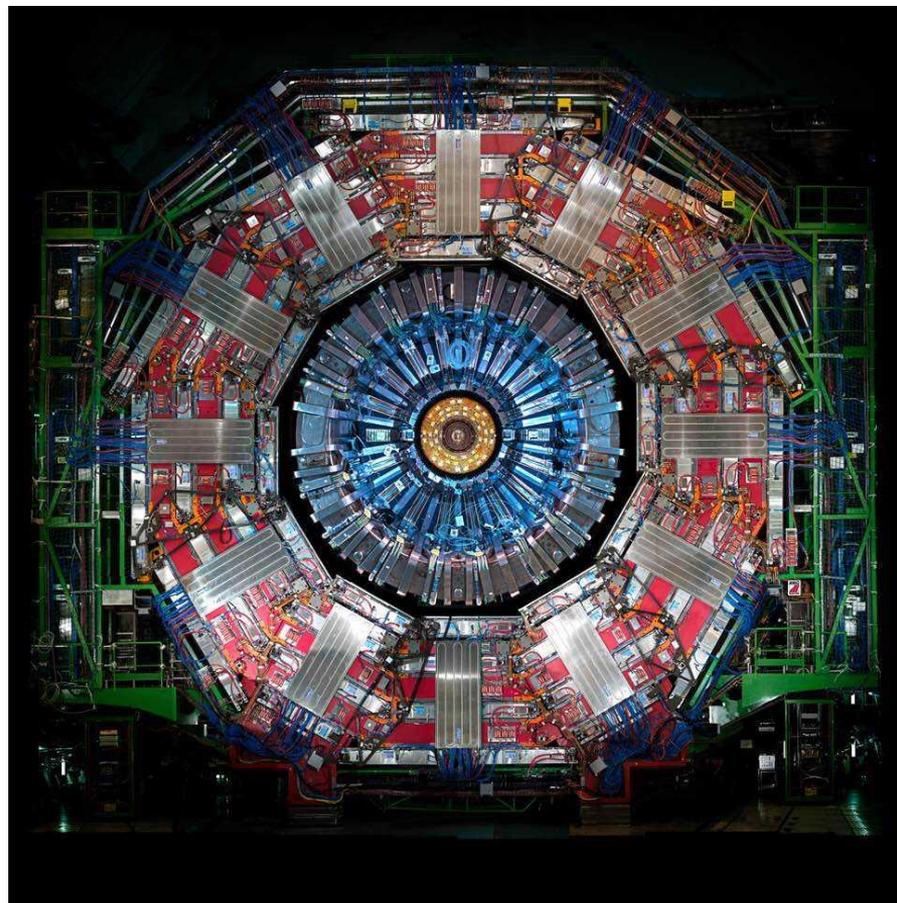
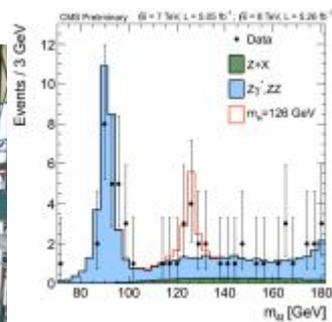
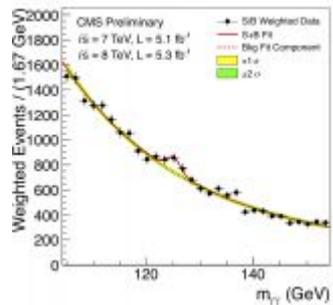
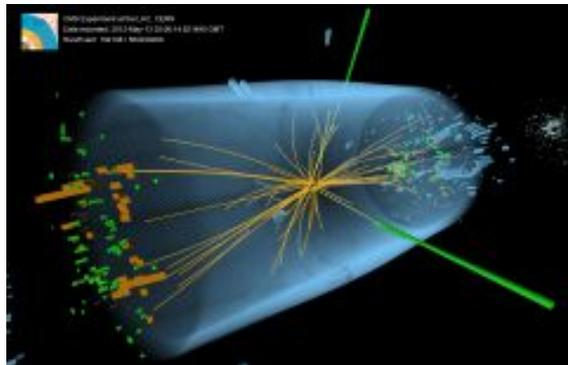
Lavoro nel campo delle interazioni fondamentali, fisica sperimentale delle particelle ad alta energia. Partecipo alle collaborazioni internazionali:

- **CMS** (LHC - CERN - Geneve - Switzerland)
- **BELLE II** (SuperKEKB - KEK - Tsukuba - Japan)

Insegno Meccanica/Termodinamica e Modello Standard a Fisica (Padova)

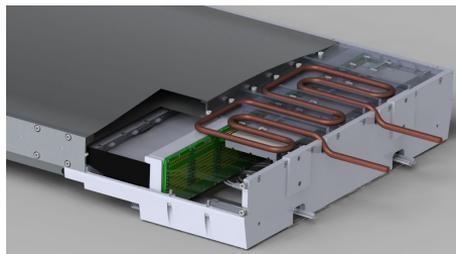
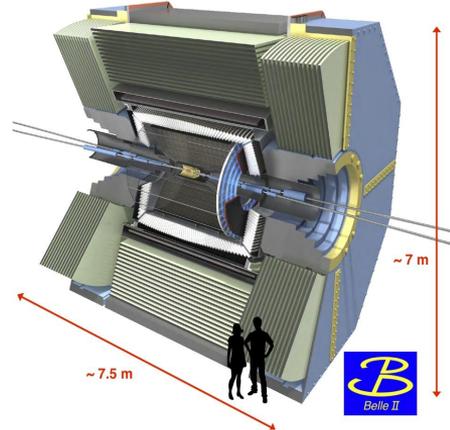
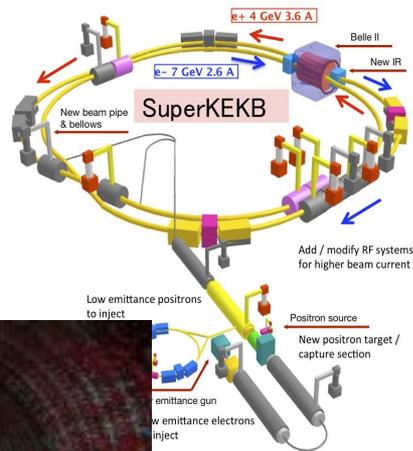
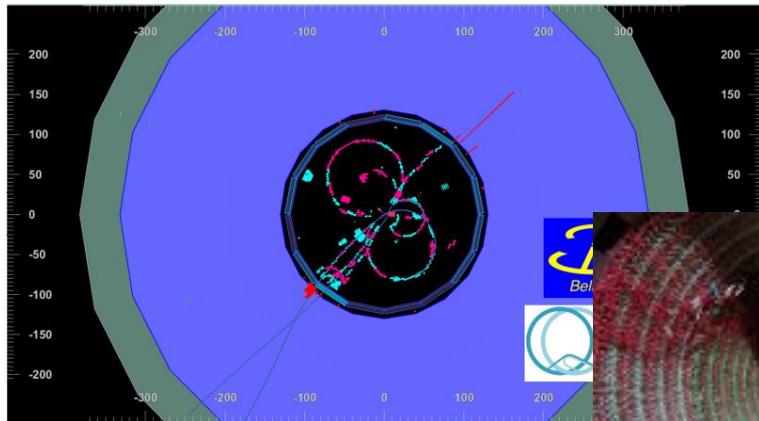
Ringrazio: Marco Faggioli, Elena Prandi, Marina Consolini e il Comune di Suzzara per l'invito e l'organizzazione

CERN - LHC - CMS





BELLE II - KEK - Japan



Cosa facciamo oggi

Non facciamo fisica delle particelle (quasi)

Due temi

- **Data Mining**

- Il data mining è l'insieme delle tecniche e delle metodologie che hanno per oggetto l'estrazione di informazioni utili da grandi quantità di dati (wikipedia).

- **Calcolo approssimato**

- L'arte di riuscire a combinare numeri (piccoli e grandi) per arrivare velocemente ad un risultato.

- **E' un laboratorio: quindi mi aspetto che lavoriate voi!**

- Strumenti: **carta, penna, cellulare (si!) o computer, no calcolatrice! E fantasia**

Come?

L'idea e' di proporvi alcune domande, alcune assurde, altre piu' interessanti e discutere insieme come arrivare ad una risposta.

Attenzione:

- Voglio mostrarvi un metodo, non mi interessa troppo il risultato.
- Non c'e' un risultato giusto (o sbagliato) e io non lo conosco
- Mi interessa molto di piu' capire come trovare le informazioni che ci servono (**data mining**) e come combinarle insieme (**calcolo approssimato**)

Note sul calcolo approssimato



Non vuol dire calcolo sbagliato!

Alcune volte non e' possibile calcolare una quantita' esattamente per diversi motivi, ma puo' essere utile capirne l'**ordine di grandezza**.

Enrico Fermi era un maestro in questo: oggi risponderemo a un po' domande "fermiane". **Quanti accordatori di pianoforte ci sono a Chicago?**

Il risultato e' 10, 100, o 1000? Non mi interessa sapere se e' 120 o 150, ma mi basta sapere che e' >10 e <1000 .

Es banale (ma non troppo): quante mattonelle ci sono nel bagno di casa vostra?

- Potrei andare a casa a contarle, ma non serve.
- Quanto e' grande una mattonella? Quanto e' grande il vs bagno? => stima
 - Non ho bisogno dei numeri esatti, se mi interessa sapere se sono 10 o 100 o 1000, basta una stima ragionevole.

Esempio di calcolo approssimato

Quanto e' la superficie della terra?

La terra e' una sfera (circa), di raggio $R=?$ (lo sapete: no? C'e' su wikipedia! O avete studiato storia?). Superficie sfera: (l'avete studiata?)



Esempio di calcolo approssimato

Quanto e' la superficie della terra?

La terra e' una sfera (circa), di raggio $R=?$ (lo sapete: no? C'e' su wikipedia! O avete studiato storia?). Sup sfera: (l'avete studiato?)

$$S=4\pi R*R = 4 * 3.14 * 6600 \text{ km} * 6600 \text{ km}$$
$$= 4\pi * (6.6E3)^2 = 4\pi (6.6)^2 E6$$

$4*\pi=10$ (si! E' approssimato!)

$6.6^2=??$ $6*6=35 \Rightarrow 6.6*6.6 = 45 \rightarrow 50$ (facile no?)

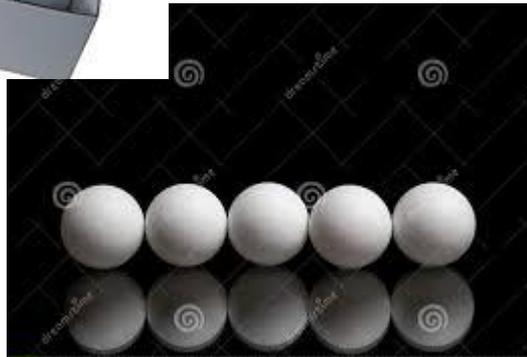
Quindi: $S=10*50*E6=500M \text{ km}^2$

wikipedia 509.4953216 M km^2 !!! Funziona!

S.Lacaparra - DataMining e calcolo approssimato - Festival Scienza - Suzzara 17/11/2018



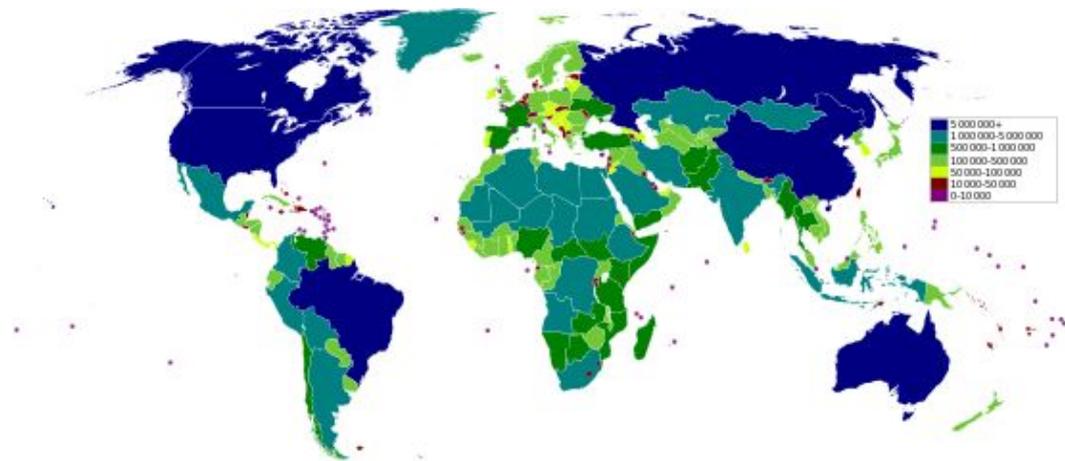
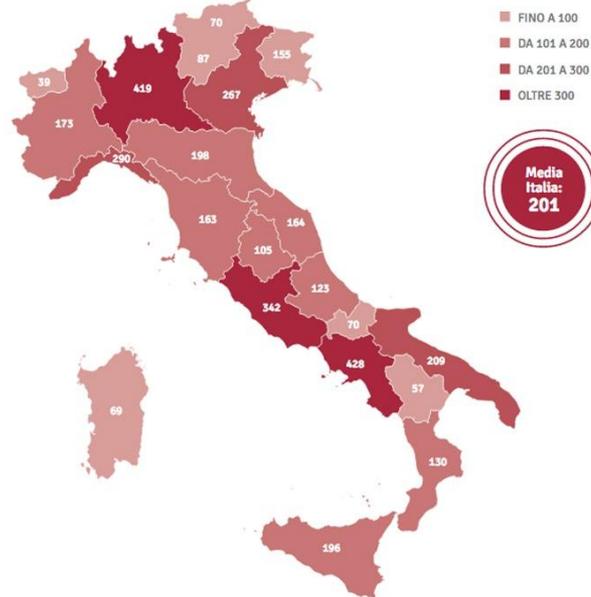
Se mettessimo tante palline da ping-pong in fila, quante ce ne vorrebbero per fare un giro completo dell'equatore?



Se tutti gli esseri umani fossero stipati in un luogo, quanto spazio occuperebbero

DENSITÀ DELLA POPOLAZIONE RESIDENTE AL 1° GENNAIO 2016

Abitanti per chilometro quadrato



Quanti camion servirebbero per trasportare tutti i biglietti della lotteria italia?



Che distanza percorre un calciatore durante una partita o durante un campionato?



approssimato

La Lego ha costruito una versione 1:1 della Bugatti Chiron che si può veramente guidare, usando circa 1 milione di pezzi di lego technics. Quanto potrebbe costare rispetto a quella vera



1500 hp 420km/h



5.3 hp 20km/h

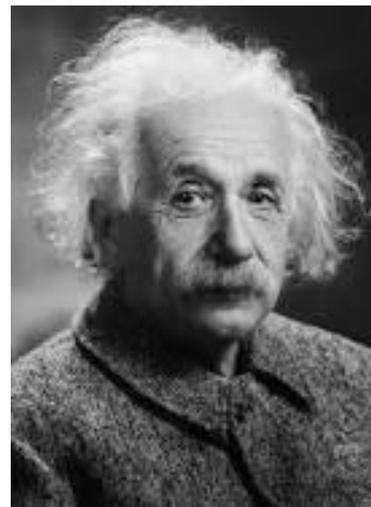
<https://youtu.be/ZQdICQmzUAM>

Quante persone hanno i piedi per terra in questo momento?



Quanti anni ha?

- Albert Einstein (se fosse ancora vivo)? (facile)
- Chiara Ferragni?
- Piero Angela?
- E quanti ne ho io? Stefano Lacaprrara



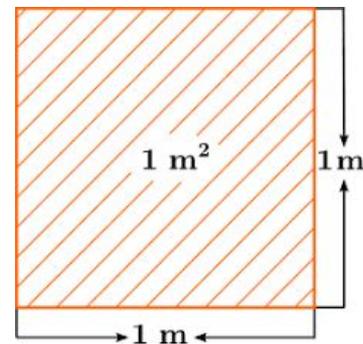
In media quante persone sono in volo sopra l'Italia in ogni istante della giornata?



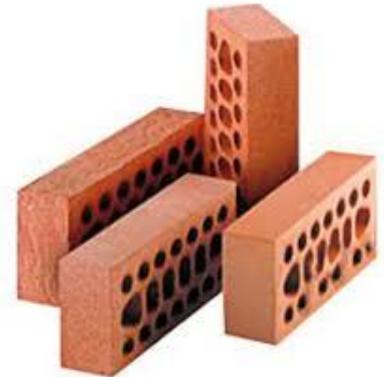
Quante autobotti di carburante consuma un'auto nel corso della sua vita?



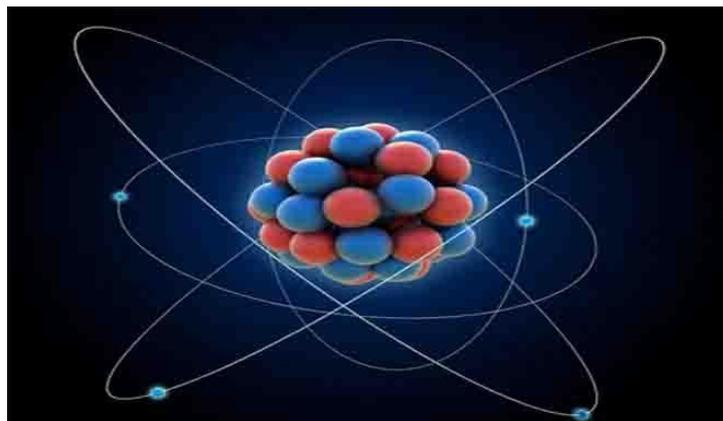
Quanti m^2 di pelle ha una mandria di mucche



Quanto pesa casa tua



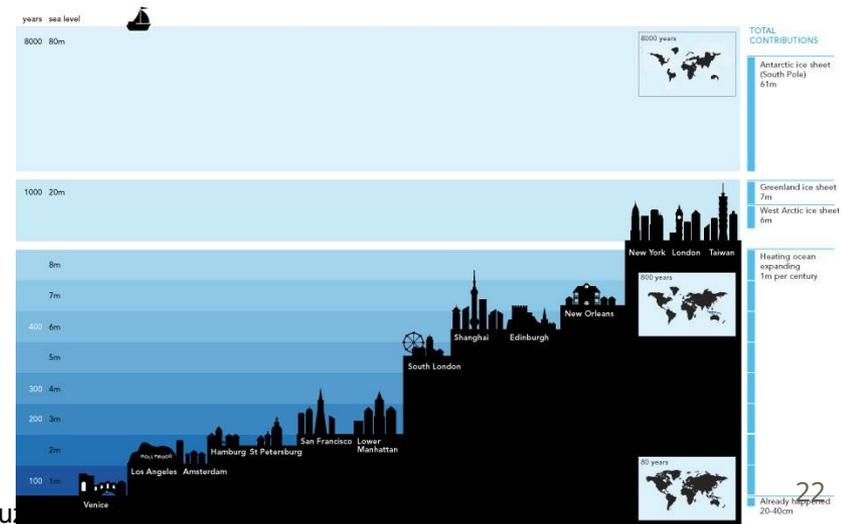
Quanti elettroni ci sono nel tuo corpo



Se tutto il ghiaccio delle calotte polari si sciogliesse, di quanto si innalzerebbe la superficie degli oceani



When Sea Levels Attack!



Quanti accordatori di pianoforte vivono a Chicago

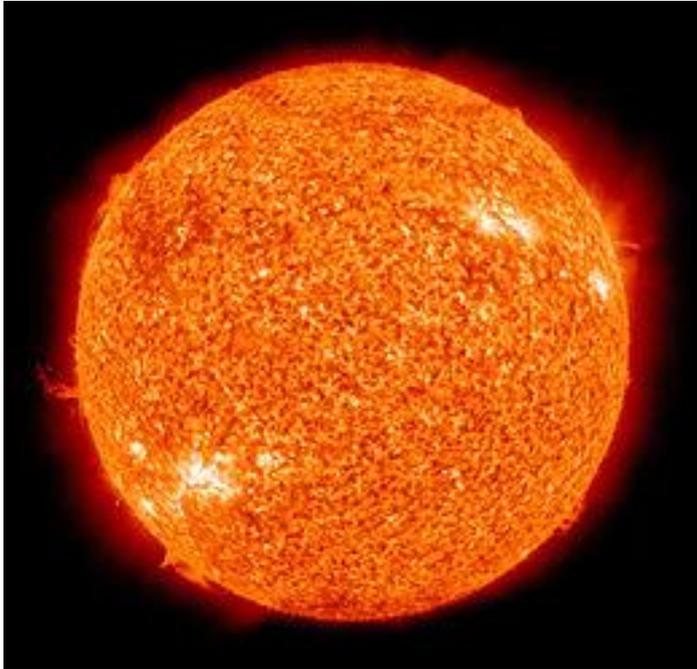
(questa la faceva Fermi ai suoi studenti all'univ di Chicago)



Voglio riempire una scatola di scarpe nel modo piu' costoso possibile: quanto riesco a metterci dentro (e cosa ci metto)? <https://what-if.xkcd.com/108/>



Quante lucciole ci vogliono per fare luce come il sole? <https://what-if.xkcd.com/151/> (molto difficile!)



“Soluzioni”

Alcune indicazioni su come si puo' provare a rispondere a queste domande fermiane.

La soluzione non e' unica (e non e' detto che sia giusta). Ci sono molte alte strade possibile. L'importante e' la strada, non il punto di arrivo.

Se mettessimo tante palline da ping-pong in fila, quante ce ne vorrebbero per fare un giro completo dell'equatore?

- Diametro pallina 4 cm,
- circonferenza terra 40'000 km:
 - circa 1E9 palline
- Quanto costano? ho trovato palline a circa 0.1euro l'una, quindi ci vorrebbero 1E8 euro, circa 100Meuro.
 - Tanti, ma non una cifra impossibile
 - Cosa ci potrei fare con 100Meuro (di piu' utile?)
- ho trovato un sito che dice che una fabbrica ne puo' produrre 200M all'anno, quindi per farne 1 miliardo servono 5 fabbriche, e' fattibile!

Se tutti gli esseri umani fossero stipati in un luogo, quanto spazio occuperebbero

- Stimando 4 persone per m^2
<http://www.backstagenews.it/2016/12/12/affollamento-stime-e-regole/>
- circa $8E9$ persone totali,
- $1m^2$ 4 persone: $100m^2$ 400 persone
 - campo da calcio? $50*100=5000m^2 \Rightarrow 20'k$ persone
 - $1km^2$? $1000*1000=1M m^2 \rightarrow 4M$ persone
 - $1000km^2$ ($30km*30km$) $\rightarrow 4E9$ persone
 - quindi circa $2000km^2$
- abbiamo circa $2000 km^2$, cioè un quadrato di $50km$.
- Ovvero la superficie della provincia di Mantova
https://it.wikipedia.org/wiki/Province_d%27Italia ($2\ 339km^2$ popolazione $\sim 400k$ persone)

Quanti camion servirebbero per trasportare tutti i biglietti della lotteria italia?

- Secondo wikipedia nel 2017 sono stati venduti 8.603.900, biglietti
- https://it.wikipedia.org/wiki/Lotteria_Italia
- <https://www.contattodesign.it/guida-grammatura/> cartoncino circa 300g/m²
- un biglietto e' 5*10 cm? quindi ne posso fare 10*20 =200 con 1 m², quindi 1 biglietto pesa 1.5 g
- Peso totale: 10M biglietti * 1.5 g: 15 Mg -> 15'000 kg = 15 Ton
 - Quanti camion servono?
 - Un Fiat ducato trasporta 2.2 ton, quindi ce ne vogliono una decina
 - Un TIR 35-44 Ton. quindi uno basta e avanza.
 - Volume? 300g 1m²*0.5mm quindi *2000 ho 600kg per m³ (acqua 1000 kg/m³, carta galleggia!) Per fare 15 Ton, mi servono circa 20 m³
 - Il ducato di prima tiene circa 15 m³, quasi ci stanno, ma pesano troppo!

Che distanza percorre un calciatore durante una partita o durante un campionato?

- Qui trovo le statistiche per squadra
<http://www.legaseriea.it/it/serie-a/statistiche-squadre> circa 100km,
- escludendo il portiere, vuol dire circa 10km per calciatore per partita
- 38 partite di campionato, per un titolare presenza media ?
- (non ho trovato), diciamo 70%, quindi 30 partite, cioè 300 km.
 - o Hey, corro di piu' io in un anno! E non mi pagano!
- Piu' coppe varie e soprattutto allenamenti

La Lego ha costruito una versione 1:1 della Bugatti Chiron che si puo' veramente guidare, usando circa 1 milione di pezzi di lego technics. Quanto potrebbe costare rispetto a quella vera

- L'originale costa circa 2.4 M euro (se la trovate)
- Prezzi scatole technics vs numero pezzi, estrapolazione, stima.
 - Millenium falcon circa 800 euro per 7000 pezzi, quindi circa 0.1 euro per pezzo
- <https://arstechnica.com/cars/2018/08/lego-built-a-life-size-drivable-bugatti-chiron-out-of-technic-pieces/>
- 1M pezzi: circa 100k euro, mettiamo almeno un fattore 2 per scatola speciale.
- Un motore (e ce ne sono 2,304) costa su amazon circa 15 euro: ~30k euro solo per quelli.
- Apparentemente le gomme (che non sono di lego) da sole costano 30k euro!
 - Quindi forse saremmo piu' vicino a ½ Meuro << 2.4 Meuro!
- Quanto pesa? 1500kg (originale 2000 kg!)
- Quanto e' grande la scatola? Costo manod'opera per costruirla (ma e' lavoro o gioco?)

Quante persone hanno i piedi per terra in questo momento?

- Si puo' ragionare cosi':
- chi non ha i piedi per terra, e per quanto tempo nell'arco di 24 ore?
- $N = \text{abitanti terra} * (\text{h al giorno con i piedi non a terra})/24\text{h}$
 - Es: dormire 8 ore/giorno
 - Viaggiare, compreso andare lavoro/scuola (treno, auto, bici, etc) ~2h/giorno
 - Attivita' fisica (correre, nuotare, saltare) 1h/giorno
 - Gente in ospedale o malata:
 - Bambini <2 anni?
 - Altri? Sicuramente ce ne sono molte, ma mi interessano quelli significativi.
 - Es: persone che in giostra non toccano terra ma sono poche. Quante ore all'anno passate voi in giostra?
 - Attenzione che le nostre abitudini non sono quelle di tutti gli abitanti della terra!
 - Eg: un americano si muove in modo diverso da un malese
- Forse $\frac{1}{3}$ - $\frac{1}{2}$ della popolazione mondiale non ha i piedi per terra.

Quanti anni ha?

- Albert Einstein (se fosse ancora vivo)?
 - Facile! Io mi ricordo (ma sono un fisico!) che il suo articolo per la relativita' speciale e sul moto browniano sono del 1905, ed era giovane, quindi potrebbe essere nato intorno al 1880 (14/3/1879 Pi-day!)
- Chiara Ferragni?
 - Wikipedia dice cha ha 31 anni (non ho idea di chi sia)
- Piero Angela?
 - Eh, non pochi: lo ricordo da sempre in TV. 89
- E quanti ne ho io? Stefano Lacaprrara
 - ehehehe

In media quante persone sono in volo sopra l'Italia in ogni istante della giornata?

- Passeggeri italia ogni anno (che partono o arrivano in aeroporto italiano) 160M (ENAC / ENAV) /365 fa circa 0.5M passeggeri al giorno, 75% in europa
 - http://www.enac.gov.it/repository/ContentManagement/information/N1512426776/Dati_di_Traffico_2016.pdf (100 pagine!) o articolo ilPost <https://www.ilpost.it/2017/03/11/enac-dati-aviazione-2016/>
- https://it.wikipedia.org/wiki/Aeroporti_d%27Italia_per_traffico_passeggeri dice 175M
- ENAV riporta 2000 voli in partenza/arrivo in italia, 8000 in totale (cioe 6000 passaggio)
<https://www.lettera43.it/comefare/turismo/2015/06/28/quant-voli-aerei-ci-sono-al-giorno-nel-mondo/1203/>
 - <https://www.enav.it/sites/public/it/ChiSiamo/Documenti/cartella-stampa-ultima-nov-diciassette.pdf>
 - 1.8M voli controllati all'anno/365 ~5000 al giorno (non uniforme nell'anno)
- Volo medio: 2 ore? Non ho trovato fonte. Stima a occhio
- Quindi: 0.5 M passeggeri partono in un arco di 12 ore, stanno in volo 2 ore in media, quindi circa $0.5M \cdot \frac{1}{6}$ sono in volo adesso, cioe' 80k
 - Quelli che volano sopra di noi sono circa 2.5x, quindi 200k (10x abitanti suzara! $\frac{1}{2}$ abitanti provincia di Mantova, ogni giorno, solo sopra l'italia!)

Quante autobotti di carburante consuma un'auto nel corso della sua vita?

- consumo medio auto
 - o Auto economiche ~3l/100 km (dichiarati)
 - o Auto media ~6l/100 km
 - o SuV ~10l/100 km
 - o Ferrari 15-20 l /100km
 - o Un valore medio dipende dal parco circolante: prendiamo un numero tonto 10l/km
- km vita auto?
 - o International Car Distribution Program Italia: 12'000 km/anno
 - o diciamo 10 anni di vita?
 - o 150'000 km?
- Servono $150'000 / 10 = 15'000$ l, meno di un autobotte!
- l in autobotte circa 25'000 litri <http://www.treccani.it/enciclopedia/autocisterna/>
 - o Che pero' costa: 1.5E ? => $15'000 * 1.5 = 20'000$ piu' o meno come la macchina stessa

Quanti m² di pelle ha una mandria di mucche

- dimensione mandria
 - difficile: diciamo piu' di 10 mucche ma meno di 100
- mucche sferiche raggio 1
 - una mucca e' : h 1.5 m, l ~2 m, larghezza ~1 m?
 - Volume: 3 m³, densita' come acqua, quindi 3 tonnellate: un po' troppo!
 - Peso circa ~1 ton, quindi volume e' circa 1m³ (wikipedia)
- Se le considero sfere di raggio 1 (ordine di grandezza) $\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 = 4\pi \text{ m}^3$ Un po' troppo, sarebbe stato meglio di diametro 1.
 - O cubo di spigolo 1m
- quindi $10 \cdot 4 = 40 \text{ m}^2$ di pelle
 -

Quanto pesa casa tua

- stima volume muri di una casa
 - o spessore muri, pavimenti, lunghezza muri
 - o Palazzina 4 piani, 4 appartamenti: m^2 circa 500 in totale
 - o quanti di muri? dipende, ma io dico un 10%
 - o Quindi ogni piano ha: $500 m^2$ di pavimento e $50 m^2$ di pareti * 4 piani + tetto ($1000 m^2$) = $3000 m^2$ di muri
 - Spessore medio? 20 cm?
 - Quindi abbiamo $600 m^3$ di mattoni/cemento, diciamo $1000 m^3$
- densita' cemento armato (cemento e ferro)
 - o calcestruzzo $\sim 2000 kg/m^3$ (2kg/l)
 - o acciaio densita' $\sim 8000 kg/m^3$ (8kg/l) diciamo il rapporto e' 90/10 ? Quindi $2500 kg/m^3$
- densita' mattoni (forati)
 - o bancale forati:
 - 1pz $25*10*10 \sim 2.5E-3 M^3$ (2.5l), peso $\sim 1.5 kg$, densita' $\sim 0.6 km/l$ ($\frac{1}{2}$ acqua! galleggiano! No.)
 - 400 pz, peso 600 kg, 32 px/ m^2 ,
- muro tipico, quanto cemento e quanti forati? 80/20?
- Peso medio m^3 di muro: $1000 kg/m^3$
 - o Peso totale muri: 1'000'000 kg ~ 1000 Ton
- stima peso mobili et al?
 - o Da tabelle ing civili, dovrebbe essere circa 300ton * piano, noi siamo stati un po' stretti.
 - o Ho trovato un palazzo di 6 piani che e' stato sollevato (L'aquila) per mettere sistemi antisismici: stima 2500 ton. Non siamo lontani.

Quanti elettroni ci sono nel tuo corpo

- composizione corpo umano (acqua)
 - peso mole di acqua
 - quanti elettroni in una mole
 - N avogadro $6.022E23$ atomi in una mole
- Oppure: massa e' data da nucleo (protoni e neutroni) e da elettroni. Ci sono circa 2 nucleoni per elettrone, e l'elettrone pesa $1/2000$ nucleone, quindi solo $1/4000$ del nostro peso e' fatto da elettroni.
- $50 \text{ kg} \rightarrow 1/4000 = 50/4000 = 1/100$, circa 10g!
- Quanto pesa un elettrone?
 - 1 mole di idrogeno pesa 1g. quindi Na(elettroni) pesa $1/2000$ g
- Per fare 1 g di elettroni mi servono circa 2000 moli di elettroni, 20'000 per fare 10.
- Quindi noi abbiamo $20'000 * Na = 2E5 * 6E23 = 1e29$ elettroni nel nostro corpo.
 - Quante sono le stelle nella ns galassia? circa $100'000E6 = E11$ stelle
 - Nell'universo? circa 10^{11-12} galassia
 - Quindi 10^{23} stelle. Siamo sotto di un fattore 10^5

Se tutto il ghiaccio delle calotte polari si sciogliesse, di quanto si innalzerebbe la superficie degli oceani

- Volume ghiaccio nei poli
 - <https://hypertextbook.com/facts/2000/HannaBerenblit.shtml>
 - <https://nsidc.org/>
 - https://en.wikipedia.org/wiki/Polar_ice_cap
 - Greenland ice sheet covers about 1.71 million km² and contains about 2.6 million km³ of ice (spessore 2/3km!)
 - Artico (polo nord) covered by sea ice ranges between 9 and 12 million km², up to 3–4 meters thick over large areas, up to 20 in some area.
 - 10⁶km²*3m=6000 km³ (poco!)
 - Antartico: (polo sud)
 - 14M km² spessore ~2km: 26.5 km³
 - Total: 2.6 M+ 26.5M = 32 M km³
- superficie mari e oceani
 - circa 70% della sup della terra (4π R²), quindi circa 360 M km²
 - 32 M km²/360 M km² ~ 0.1km (100 m).
 - In realta' se il livello del mare si alza di 100 m, molte pianura (tipo pianura padana) diventano mare, quindi il numero e' piu' piccolo.
-

Quanti accordatori di pianoforte vivono a Chicago

(questa la faceva Fermi ai suoi studenti all'univ di Chicago)

- Possibile strada per arrivare ad un risultato:
- Abitanti di Chicago
- Quante “Case” (appartamenti, case singole, etc)
- Pianoforti per casa (da aggiungere scuole, auditori, luoghi pubblici)
- Ogni quanto accordare un pianoforte?
- Quanto ci mette a accordare?
- Quanti giorni lavora all'anno?
 - La domanda satura l'offerta?
- Ordine di grandezza dovrebbe venire 10-100 a seconda delle stime
- https://www.yelp.com/search?find_desc=Piano+Tuner&find_loc=Chicago%2C+IL ne riporta 32!

Voglio riempire una scatola di scarpe nel modo piu' costoso possibile: quanto riesco a metterci dentro (e cosa ci metto)? <https://what-if.xkcd.com/108/>

- Volume circa 10 litri
 - Oro: 34Keuro/kg : densita' circa 20 kg/l, quindi $10 \times 20 \times 34k = 7 \text{ Meuro}$
 - Platino: 24 keuro/kg
 - Palladio 31 keuro/kg
 - Plutionio <https://hypertextbook.com/facts/2008/AndrewMorel.shtml> ~4keuro/grammo, densita' 20kg/l, quindi 200kg, quindi **800Meuro**
 - NB: massa critica plutonio circa 16kg, quindi non bello
 - Banconote:
 - <http://www.cockeyed.com/inside/million/million.html>
 - ha stimato (sperimentalmente) che 1M\$ occupa circa in banconote da 100\$ servono circa 10l $20 \times 15 \times 33 \text{ centimetri}^3$
 - una banconota ha spessore 0.11 mm, e dimesioni 7x15 cm
 - ma se sono usate hanno spessore piu' grande!
 - se nel impilo 10'000 arrivo ad 1 metro (circa)
 - base $7 \times 15 \text{ cm}^2$, volume circa 10 l
 - $10'000 * 500 \text{ euro} = 5 \text{ M euro}$
 - Diamanti:
 - difficile, perche' dipende molto da mercato
 - <https://www.gioiello-online.it/quanto-costa-un-diamante/>
 - circa 6000 euro/carato (0.2 grammi). Quindi circa 30keuro/g
 - densita' 3.5 g/cm^3
 - in 10 l = $1E4 \text{ cm}^3$, quindi $3.5E4 \text{ g} = 1000 \text{ M euro}$

Voglio riempire una scatola di scarpe nel modo piu' costoso possibile: quanto riesco a metterci dentro (e cosa ci metto)? <https://what-if.xkcd.com/108/>

- Droga!
 - prezzo strada cocaina ~100\$/g ma meno densa oro, quindi non conviene
 - medicine:
 - <https://www.fedaiisf.it/7-farmaci-piu-costosi-del-mondo/>
 - GLYBERA: trattamento malattia genetica (accumulo grasso nel sangue) 1M\$ per trattamento (usata da 1 persona nel 2016!) 40 iniezioni (10 ml?)
 - 0.4 l, quindi nella mia scatola ne posso mettere 10 trattamenti
 - **10M euro**
 - (pare sia stata ritirata)
- schede SD piene di musica/ebook
 - scheda SD da 128 GB:
 - $15 \times 11 \times 1 \text{ mm}^3: 1.6\text{E-4l.}$
 - Quindi in 10l ce ne metto circa 60 mila.
 - costo ~30euro => **1.8 Meuro**
 - $6 \times 128 = 1\text{TB} \rightarrow 10 \text{ PB}$
 - memoria totale: 10 Pb
 - In ognuna ci posso caricare:
 - song: 4mb /song * 1euro /song: 30k euro per scheda **1800 Meuro**
 - ebook 2MB: 5 euro-> 300k per scheda: **18'000Meuro**

Voglio riempire una scatola di scarpe nel modo piu' costoso possibile: quanto riesco a metterci dentro (e cosa ci metto)? <https://what-if.xkcd.com/108/>

- **Bitcoins?**

- <https://www.blockchain.com/it/charts>
- 21 M bitcoin:
- dimensione media blocco 1Mb
 - dimensione totale: 1000 BT=1GB 1M BT 1TB. poca roba.
 - ci stanno tutti e pure ne avanza un sacco!
- prezzo di mercato 6000 \$
 - **129'000 Meuro 130 Miliardi di euro**
 - **debito pubblico italiano: 2300 miliardi di euro, non bastano!**

- **Altre Idee?**

- Un assegno da 100'000'000'000'000'000'000'000 euro ?
 - Ma sono soldi veri?
 - Piu' o meno veri dei bitcoins
 - O delle banconote?
 - Pensateci, una banconota e' un foglio di carta colorato che vale qualche centesimo, ma che sopra ha scritto che vale 100 euro. In che modo e' diverso dall'assegno che scrivo io?

Quante lucciole ci vogliono per fare luce come il sole? <https://what-if.xkcd.com/151/>

(molto difficile!)

- **Ragiono così'**: il sole produce luce per circa 5 miliardi di anni usando la fusione nucleare come meccanismo per produrre energia
 - Fusione trasforma in energia circa 1% della massa: energia/unità di massa = $1\% mc^2 / m = 1\% c^2$ (c è velocità della luce, e mc^2 la conoscete)
- La lucciola invece produce luce solo per parte delle notti estive e usa la trasformazione del cibo (cosa mangiano le lucciole?) in energia.
 - Un grammo di cibo (es burro) contiene circa 9 calorie, quindi densità di energia lucciola: 9 cal/grammo
- 5 miliardi di anni / (4 ore/giorno * 3 mesi) / (1% c^2) / (7 kcal/grammo) [conto fatto su WolframAlpha](#)
- funziona così':
 - Il sole farà luce per circa 5 miliardi di anni
 - le lucciole fanno luce per 4 ore al giorno in estate
 - Rapporto tra energia immagazzinata in un kg di sole e in un kg di lucciola
 - fusione nucleare converte in energia circa 1% della massa, quindi energia disponibile per unità di massa è $1\% mc^2/m = 1\%c^2$
 - energia disponibile per massa di cibo. 7 kcal/g
 - In massa, circa 1/5000 sole: le lucciole fanno più luce del sole (perché non devono farla per 5 miliardi di anni...)
- **Oppure**: luminosità sole (400 YW (yotta= 10^{24} watt) $\sim 4E26$ W (wikipedia))
- luminosità lucciola <https://www.enchantedlearning.com/subjects/insects/beetles/Fireflyprintout.shtml> Photinus pyralis circa 1/40 di candela. 1 candela corrisponde a 1/683 W (in tutte le direzioni). Quindi potenza lucciola è circa $4E-5$ W
 - quindi servono circa 1E31 lucciole, ognuna pesa circa 20mg, quindi $2E26$ kg:
 - Massa sole: $2E30$. Quindi rapporto delle masse $\sim 1/10000$ (che più o meno torna con quanto calcolato prima)