



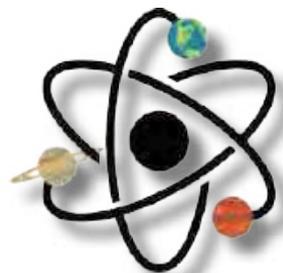
GRaffa:

avvicinare i giovani ricercatori di domani

Matteo Giovannetti

Laboratori Nazionali di Frascati - INFN

A.G. Le Scie Fisiche: E. Diociaiuti, R. Donghia,
S. Macis, E. Margoni, E. Patrignanelli, M. Petrassi, L. Rubino



LE SCIE
FISICHE

Nell'ambito di:

**GENERAZIONI
GIOVANI.IT**
REGIONE LAZIO

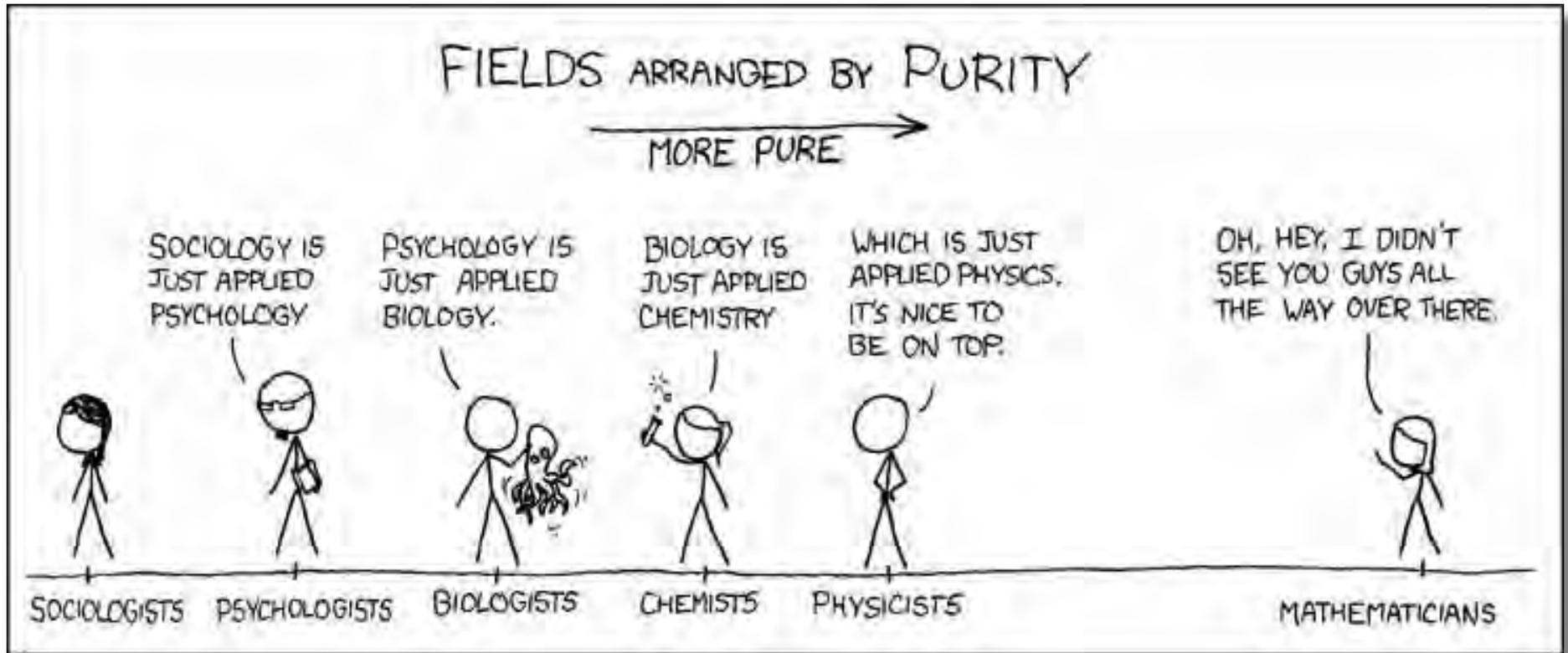


Con il sostegno di:



**REGIONE
LAZIO**

Parleremo di (divulgazione di) Fisica



Da quella miniera d'oro che è <https://xkcd.com/>

M. Giovannetti - GRaffa: avvicinare i ricercatori di domani

L'onere del presentarsi

Matteo Giovannetti

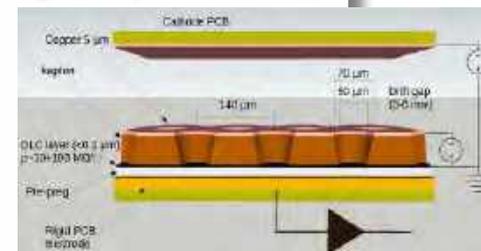


Profilo

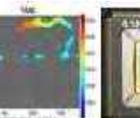
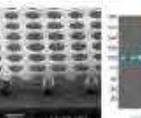
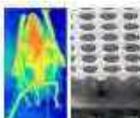
Dottorando in Fisica all'Università di Roma "Tor Vergata", lavoro presso i Laboratori Nazionali di Frascati dell'INFN. Collaboro con il Detector Development Group (DDG) nella realizzazione di nuovi rivelatori di particelle, specializzandomi nel campo dei Micro-Pattern Gaseous Detector (MPGD), con uno sguardo prettamente rivolto alla fisica delle alte energie e agli upgrade degli esperimenti ad LHC.

Istruzione e formazione

- 2019 - Now **Dottorato in Fisica - ciclo XXXV**
Laboratori Nazionali di Frascati (LNF-INFN), Frascati
Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"
- 2016 - 2019 **Laurea Magistrale in Fisica** [110/110]
Università degli Studi di Roma "La Sapienza"
- 2012 - 2016 **Laurea Triennale in Fisica** [109/110]
Università degli Studi di Roma "La Sapienza"
- 2012 - 2016 **Diploma Scientifico** [98/100]
Liceo Scientifico Sperimentale "B. Russell", Roma



RD51 Collaboration



L'onere del presentarsi

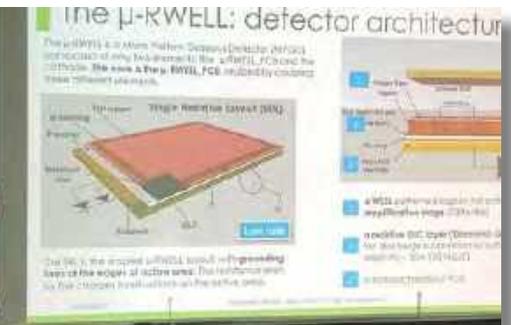


La Sapienza - Fisica



Laboratori Nazionali di Frascati - INFN

Il mondo

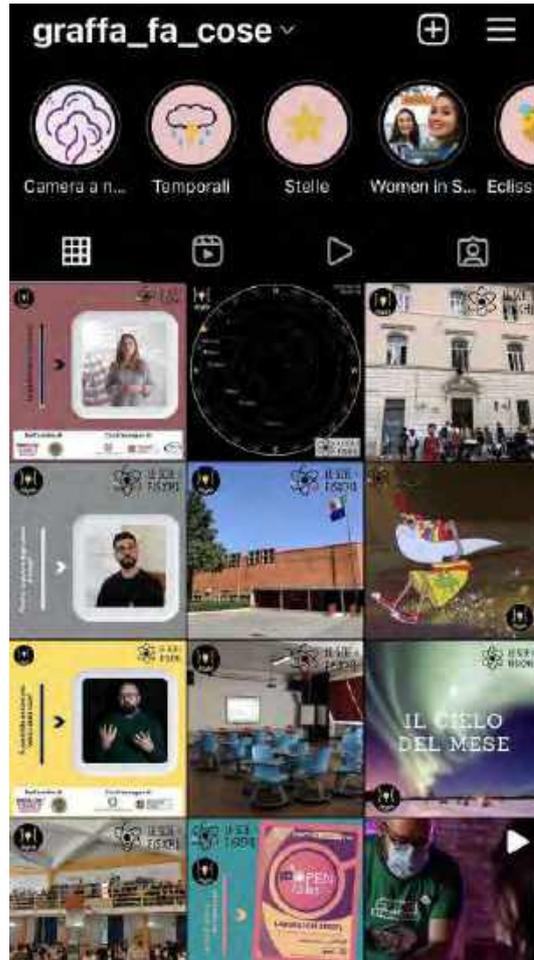


L'idea dietro il progetto GRaffa

- **2018 - Graffa nasce su Instagram:** un account di divulgazione scientifica gestito da alcuni **dottorandi** dei Laboratori Nazionali di Frascati
- Obiettivo: diffondere l'idea che **la scienza** (in particolare la fisica) **non è qualcosa di lontano ed astratto:** non è solo galassie distanti, acceleratori di particelle e matematica astrusa ma qualcosa che ci circonda
 - E che magari è anche divertente da capire
- A volte avvicinarsi alla materia è difficile: ad esempio stereotipi relegano le materie scientifiche ad esser capite solo da una minoranza (spesso maschile). **NULLA DI PIÙ SBAGLIATO**
→ tramite l'esempio si combattono questi stereotipi
- **2021** - grazie ad un bando della Regione Lazio nasce l'associazione giovanile **Le Scie Fisiche**



Si ma come?



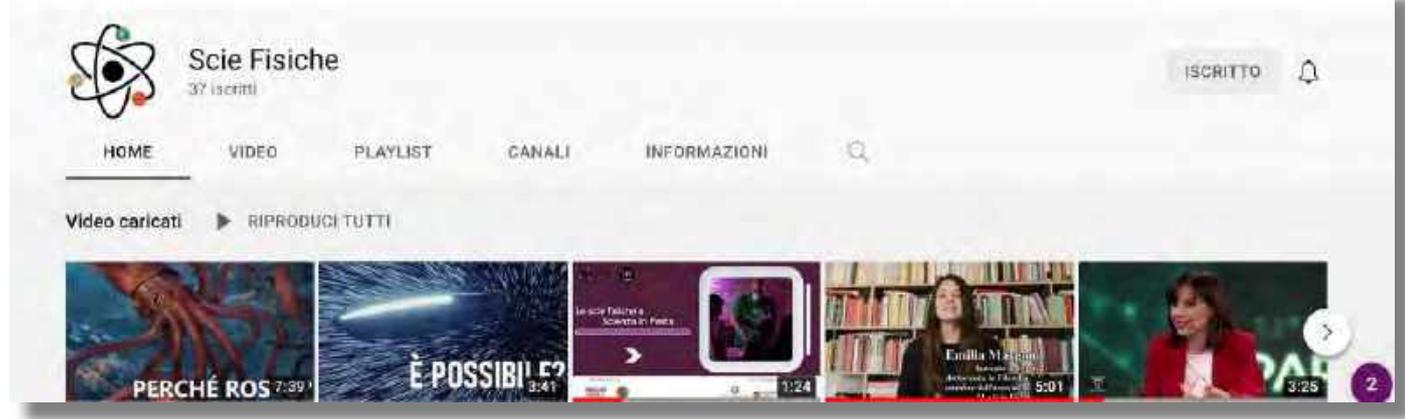
- **Instagram & Facebook:** post scientifici riguardo la fisica di tutti i giorni, grandi progressi scientifici, anniversari e rubriche (come “il cielo del mese”)
- **Attività nelle scuole:** laboratori dal vivo per scuole elementari e medie, seminari per istituti superiori
- **Video-pillole:** brevi video (2-10 minuti) riguardo gli argomenti più disparati (dalla fisica delle particelle al colore dei pesci nelle profondità marine)
- **Festival Scientifici:** partecipazione con laboratori ad eventi organizzati nel Lazio, sia a Roma che a Frascati



Video-pillole



10/02/23



- **2022 - apertura del canale Youtube:** materiale di supporto per l'insegnamento e video-pillole... più video che pillole
- **Video-riassunti** di alcune laboratori pubblici, per permettere anche a chi non era presente di poter vivere l'esperienza



M. Giovannetti - GRaffa: avvicinare i ricercatori di domani

Festival di divulgazione



10/02/23

- 2021 - dall'inizio del progetto molti interventi pubblici sono stati fatti! **Laboratori, seminari, interventi a talk e conferenze.**
Alcuni esempi:
- Laboratori durante la **Notte Europea della Ricerca** (2021 e 2022):
 - Sky explorers
 - 1,2,3 Scienza!
- Science Party (10/2021)
- **International Day of Women and Girls in Science** (sia nel 2022 che oggi)
- Scienza in Festa (4/2022)
- Tour e laboratori durante gli **LNF Open Labs** (5/2022)
- Grazie ai nostri principali supporter:
i Laboratori Nazionali di Frascati e Frascati Scienza



M. Giovannetti - GRaffa: avvicinare i ricercatori di domani

Scuole – primarie e secondarie

Le Onde:
Suono e Luce



- **Educazione scientifica: è fondamentale iniziarla subito**
- La cultura scientifica si costruisce
 - Partendo da **esperienze pratiche e domande quotidiane**
 - Alimentando la **naturale curiosità**
- ~300 bambini (6-14 anni) da più di 10 scuole hanno partecipato ai nostri laboratori

“Supercool” Physics



La Fisica in Cucina

- Laboratori per la scuola primaria e secondaria: semplici esperimenti, per permettere ai **bambini** di **ragionare** sui fenomeni e provare a dare (spesso con successo) delle risposte.
 - Obiettivo: stimolare il **pensiero critico**



La Luce e lo spettro
Elettromagnetico

Scuole – istituti superiori



- **Seminari/Lezioni** per studenti, su vari argomenti: per esempio “cosa è una particella elementare e come possiamo osservarla”
 - I campi della Fisica che portiamo nelle classi sono quelli che vengono dalla **nostra esperienza personale...**
 - ...e la nostra esperienza personale (i.e. la nostra carriera) è essa stessa argomento di discussione
- Più di **1100 studenti** (14-19 anni) da più di 50 scuole sono stati coinvolti durante gli ultimi 2 anni



Scuole – istituti superiori

Perché la matematica è importante nella nostra vita?



Applicazioni della Fisica per i Beni Culturali

Le grandi scoperte di inizio '900

- **Seminari/Lezioni** per studenti, su vari argomenti: per esempio “cosa è una particella elementare e come possiamo osservarla”
 - I campi della Fisica che portiamo nelle classi sono quelli che vengono dalla **nostra esperienza personale...**
 - ...e la nostra esperienza personale (i.e. la nostra carriera) è essa stessa argomento di discussione
- Più di **1100 studenti** (14-19 anni) da più di 50 scuole sono stati coinvolti durante gli ultimi 2 anni

Filosofia Della Scienza



Fisica media e sviluppo sostenibile



Un viaggio interessante: dai muoni alla radioprotezione

Perché si studia?

Aspetti PRATICI

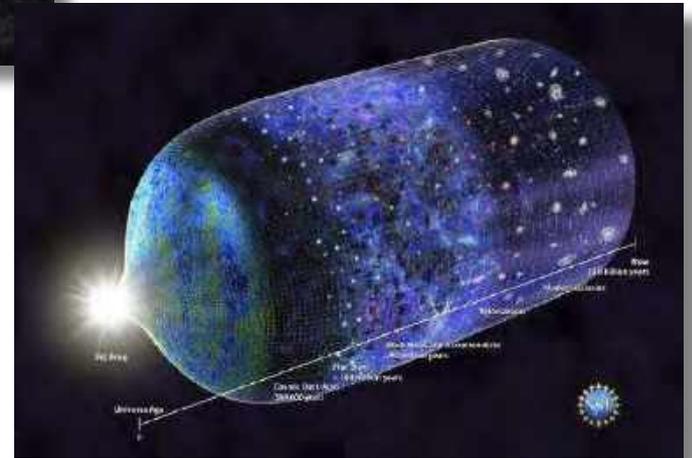


- Innovazione industriale
- Innovazione informatica
- Innovazione civile



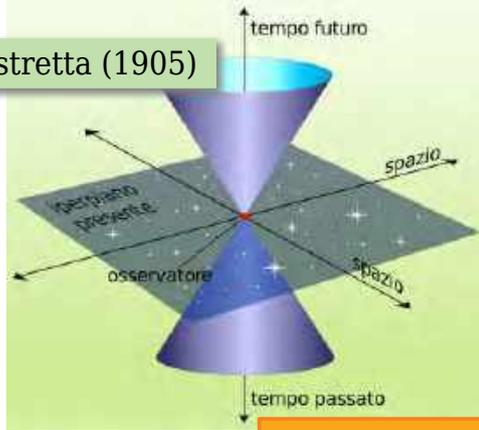
Aspetti meno PRATICI

- Come è nato quel che esiste?
- In che modo funziona?
- Smontare teorie filosofiche
 - Dare lavoro a nuovi filosofi
- Il senso di smarrimento dinnanzi l'infinita complessità della realtà

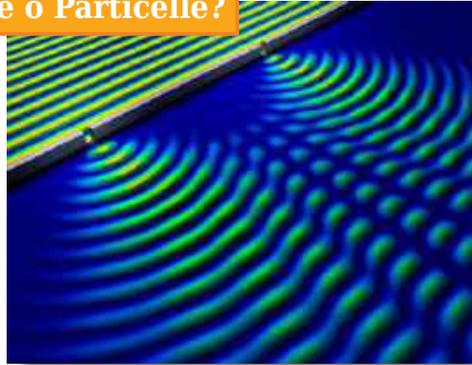


Il fascino dell'incomprensibile

Ristretta (1905)



Onde o Particelle?



Il gatto di Schrödinger



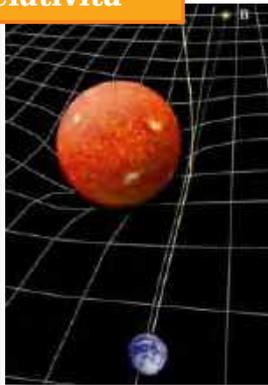
Geiger Counter
(Detects a radioactive decay)



Relatività



Einstein e Goedel



Generale (1915)

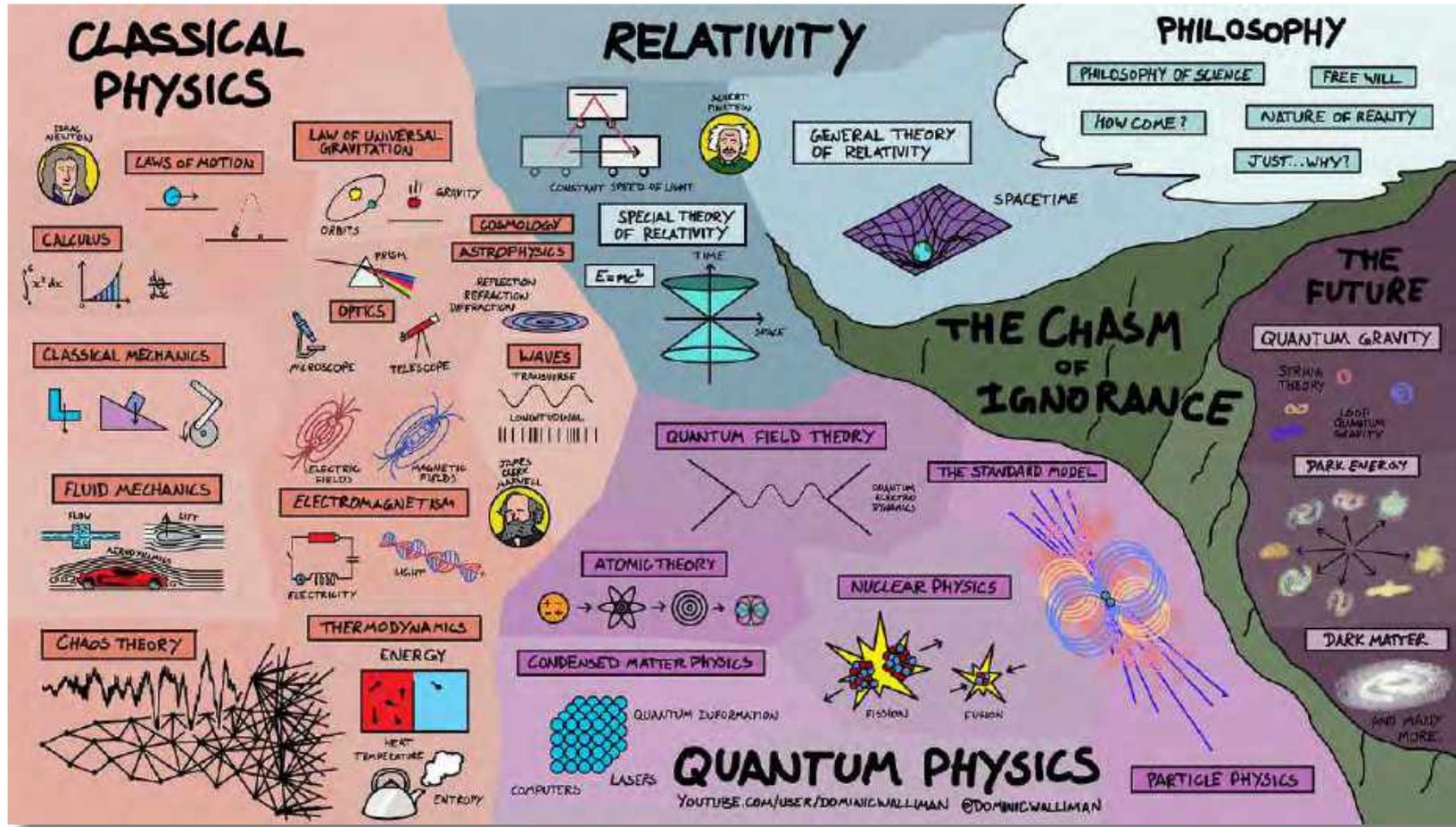
L'infinitamente piccolo...



... l'infinitamente grande



Quanta fisica c'è in giro?



<https://www.youtube.com/watch?v=ZihywtixUYo>

Si ma a che serve?



In una storia molto diffusa, il politico William Gladstone, allora ministro delle finanze, chiede a Faraday (1791-1867):
«Ma a che serve questa vostra elettricità?».
La replica di Faraday giunge serafica:
«Non lo so, signor ministro. Ma sono certo che I vostri successori troveranno il modo di tassarla.»

Si ma a che serve?

Home Mail Notizie Sport Finanza Celebrity Style Cinema Meteo Answers Mobile Altro ▾

YAHOO!
ANSWERS

Cerca Answers Cerca sul web

Tutte le categorie

- Affari e finanza
- Ambiente
- Animali da compagnia
- Arte e cultura
- Auto e trasporti
- Bellezza e stile
- Casa e giardino
- Computer e Internet
- Elettronica di consumo
- Giochi e passatempo
- Gravidanza e genitori
- Mangiare e bere

 Non conoscere la fisica vuol dire non conoscere le leggi che governano l'universo, e quindi anche la vita sulla terra.

[ilmaster83](#) · 1 decennio fa

👍 3 👎 0

Commento 

 senza la fisica ora non avresti lo scooter, la macchina, l'elettricità, il cellulare, l'ipod e tante altre cose...secondo me serve, tu ke dici???

[Lorenzo91](#) · 1 decennio fa

👍 3 👎 1

Commento 

Si ma a che serve?

Matematica e scienze
Musica e intrattenimento
Negozii ed aziende locali
Notizie ed eventi
Politica e governo
Relazioni e famiglia
Salute
Scienze sociali
Scuola ed educazione

 **A molto...**
Guarda che ogni cosa è governata da un principio fisico...

Kikka · 1 decennio fa

 2  1

Commento 

 **A niente**

Anonimo · 3 anni fa

 1  1

Commento 

 **me lo chiedo anche io da circa 3 anni =>**

Krys l'ignudo ribelle · 1 decennio fa

 1  1

Commento 

 **io con la fisica ho chiuso da qnd ho finito le superiori e ne sono felice!**

Si ma a che serve?

Matematica e scienze

Musica e intrattenimento

Negozi ed aziende

Notizie ed eventi

Politica e governo

Relazioni e famiglia

Salute

Scienze sociali

Scuola ed educazione



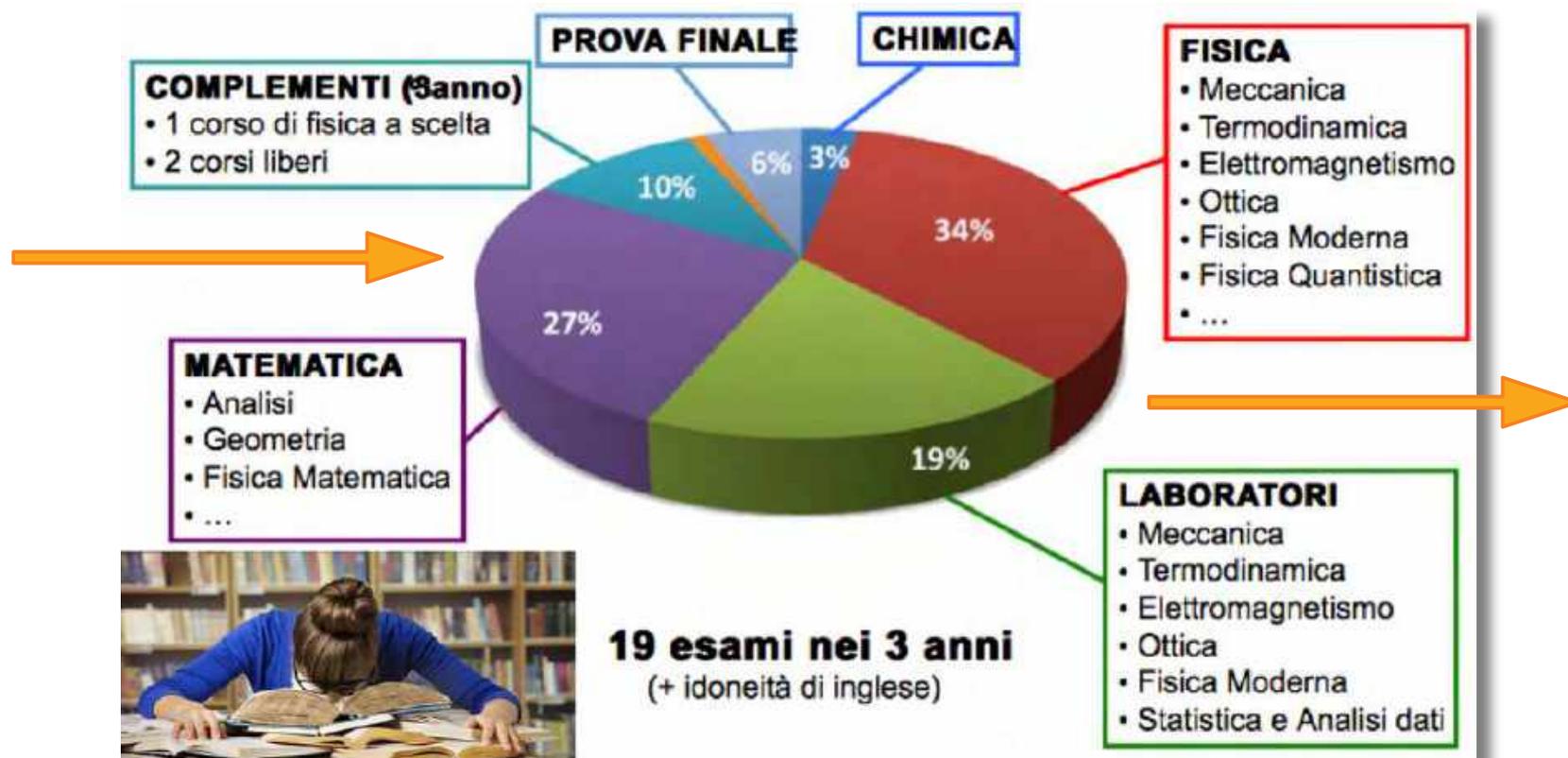
Commento 

Commento 

Commento 

Cosa si studia

DIPLOMA



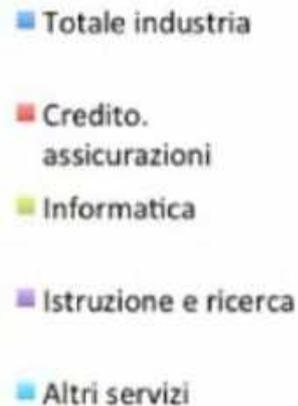
iiiiiii

E dove si va

- I fisici nel **mondo del lavoro** laureati in Fisica in Italia a **3 / 5** anni dalla Laurea Magistrale⁽²⁾

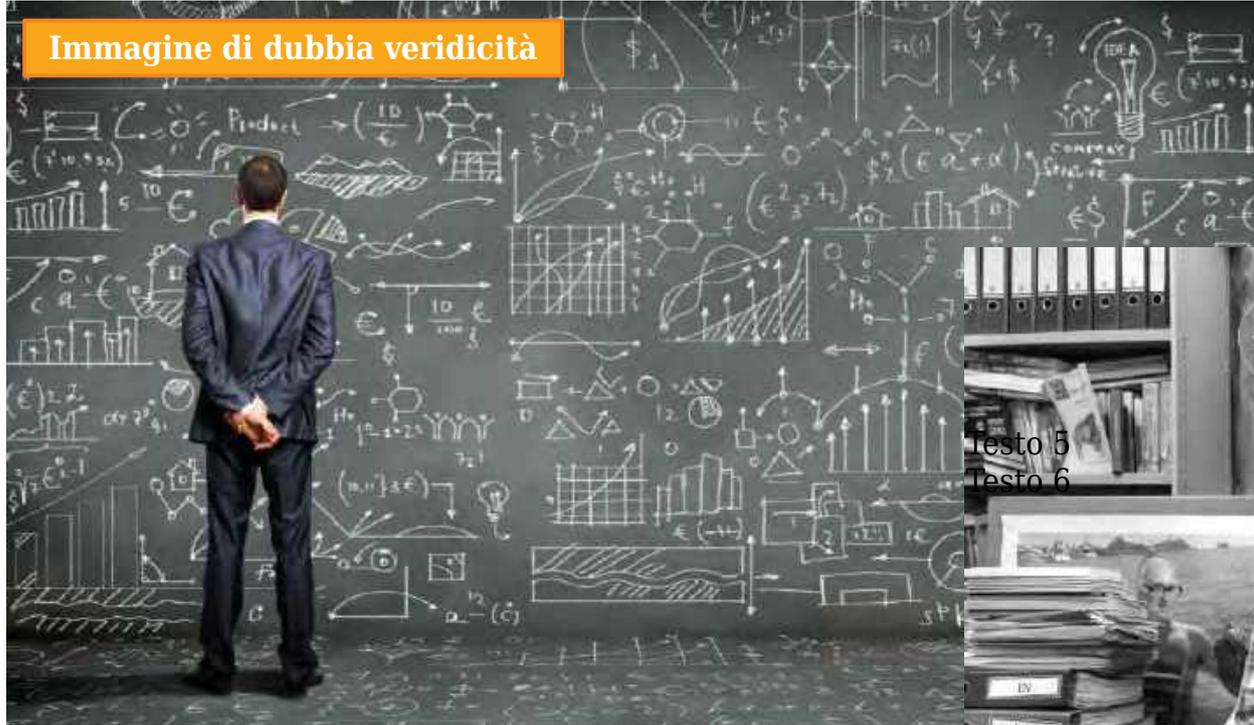


Fonte ALMALAUREA, dati dal 2013



Una giornata da ricercatore

Immagine di dubbia veridicità



- Individuare gli elementi essenziali di un processo e creare un modello che lo descriva
- Fare misure, analizzare i dati e confrontare i risultati

- Apportare al modello i necessari cambiamenti
 - Aumento della conoscenza
 - Applicazioni scientifiche e tecnologiche



**John Ellis, CERN,
fisico teorico**

Una giornata da ricercatore



The screenshot shows a Linux desktop environment. On the left is a file manager window displaying a directory structure with various files and folders. In the center, a terminal window shows a shell prompt and some output. On the right, a data plot is displayed. The plot is titled "gsRPC - C₂H₂F₄/ISO/SF₆ - 93.5:5:1.5" and shows the efficiency (Eff [%]) on the y-axis (ranging from 0 to 100) versus the high voltage (HV [kV]) on the x-axis (ranging from 9 to 11). The plot contains two data series: "nov/10 UP" (red circles) and "nov/11 DW" (black diamonds). Both series show a sharp increase in efficiency starting around 9.5 kV, reaching a plateau of approximately 90% efficiency between 10 and 11 kV. A legend in the plot identifies the data series.

Programmazione

Analisi dati, automazione strumenti di misura, simulazione processi fisici o statistici

Il mio desktop il 90% del tempo

Una giornata da ricercatore



Laboratorio

Realizzazione di prototipi e loro caratterizzazione, test di qualità, produzione per esperimenti



Letteratura

Non si finisce mai di studiare (purtroppo o per fortuna)



Esperienze estere

Test in altri laboratori, discussioni, conferenze



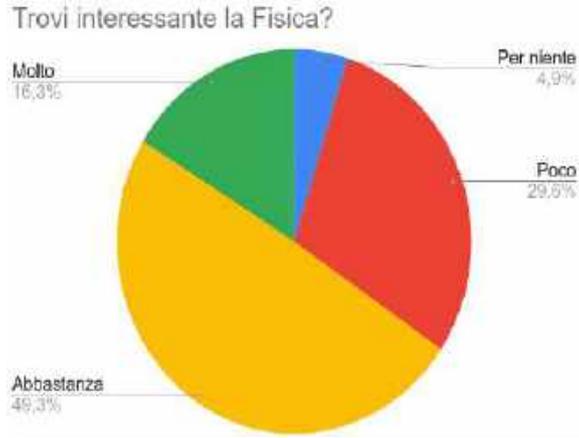
Un utile questionario

- Alla fine di ogni attività, agli studenti con i quali abbiamo interagito è stato chiesto di rispondere ad un **breve questionario**. Ci ha permesso di capire il **punto di vista** delle nuove generazioni riguardo la fisica e la presenza di potenziali **preconcetti o stereotipi** riguardo il lavoro del ricercatore.
 - Più di 1000 risposte sono state raccolte: 90% di esse vengono dagli studenti, il rimanente dagli insegnanti:

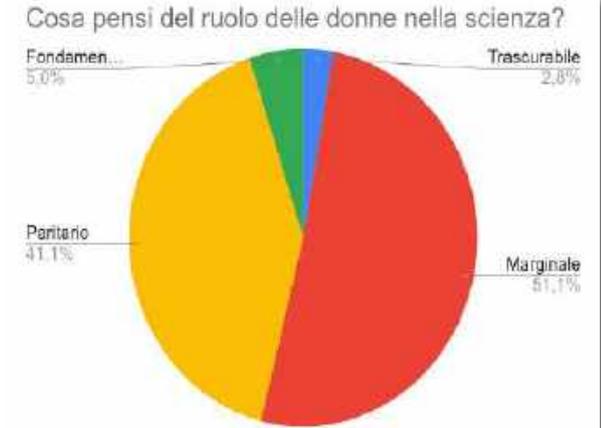
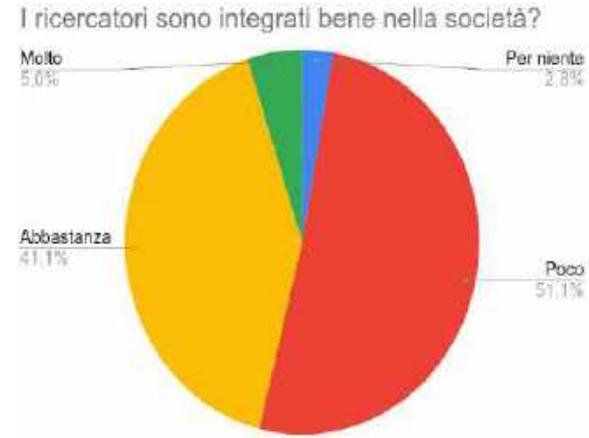
4.9% - <14 anni	8.5% - 19.24 anni
78.2% - 14-18 anni	8.4% - >25 anni

Un utile questionario

- Alla fine di ogni attività, agli studenti con i quali abbiamo interagito è stato chiesto di rispondere ad un **breve questionario**. Ci ha permesso di capire il **punto di vista** delle nuove generazioni riguardo la fisica e la presenza di potenziali **preconcetti o stereotipi** riguardo il lavoro del ricercatore.
 - Più di 1000 risposte sono state raccolte: 90% di esse vengono dagli studenti, il rimanente dagli insegnanti:
 - 4.9% - <14 anni
 - 8.5% - 19.24 anni
 - 78.2% - 14-18 anni
 - 8.4% - >25 anni



- Dal sondaggio e parlando con gli studenti: **il ricercatore è ancora una figura misteriosa e stramba, ai margini della società** - aver potuto interagire con noi ha mostrato loro che è vero è una possibilità di carriera valida quanto altre
- La risposta delle **giovani studentesse** è stata **molto positiva**: molte di loro avevano intenzione di intraprendere un **corso scientifico** all'università



Conclusioni



- Dopo circa 1 anno di attività abbiamo ottenuto dei **risultati notevoli!**
 - Partecipazione ad importanti **eventi di divulgazione**
 - **Promozione della cultura scientifica** in base alle esigenze delle scuole con cui abbiamo collaborato
 - Presentazione sul campo di **un esempio positivo contro gli stereotipi di genere**
- Sono state gettate le basi per la preparazione di **futuri eventi**, con il supporto di enti ed associazioni sul territorio

Link Tree



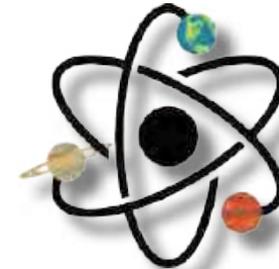
matteo.giovanetti@lnf.infn.it

 https://www.instagram.com/graffa_fa_cose/

 <https://www.facebook.com/graffafacose>

10/02/23

M. Giovannetti - GRaffa: avvicinare i ricercatori di domani



LE SCIE
FISICHE 

Conclusioni



- Dopo circa 1 anno di attività abbiamo ottenuto dei **risultati notevoli!**
 - Partecipazione ad importanti **eventi di divulgazione**
 - **Promozione della cultura scientifica** in base alle esigenze delle scuole con cui abbiamo collaborato
 - Presentazione sul campo di **un esempio positivo contro gli stereotipi di genere**
- Sono state gettate le basi per la preparazione di **futuri eventi**, con il supporto di enti ed associazioni sul territorio

Link Tree



PS: se questa presentazione verrà resa disponibile online, nelle slide più avanti c'è un utile elenco di letture interessanti, per cultura personale o per ispirazione per l'esame di maturità.

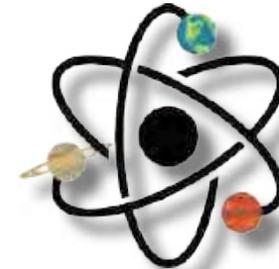
matteo.giovanetti@lnf.infn.it

 https://www.instagram.com/graffa_fa_cose/

 <https://www.facebook.com/graffafacose>

10/02/23

M. Giovannetti - GRaffa: avvicinare i ricercatori di domani



LE SCIE
FISICHE 

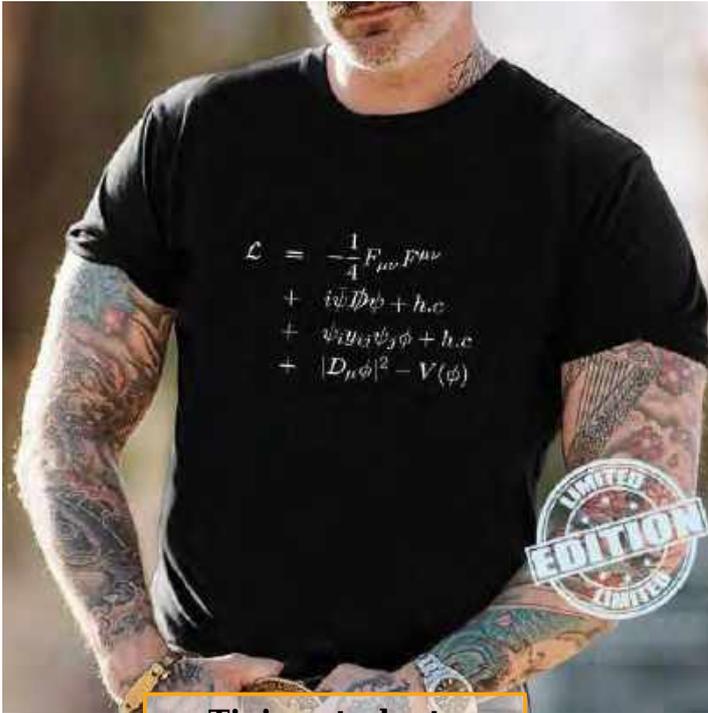
Consigli di Lettura – 1/2

- (italiano) **Asimmetrie** - la rivista dell'INFN (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare <https://www.asimmetrie.it/>)
È una rivista gratuita, semestrale, il cui argomento principale è la divulgazione scientifica per quanto riguarda la fisica delle particelle (ed alcuni argomenti di interesse più vasto di astrofisica). La cosa meravigliosa è che è gratuita e viene spedita a casa dell'abbonato senza nessun costo, neanche di spedizione. Online sono presenti tutti i vecchi numeri.
- (ok non è un consiglio di lettura MA...) il sito dei Laboratori Nazionali di Frascati (<http://w3.lnf.infn.it/>) è sempre ricco di proposte ed informazioni. Visite guidate ai laboratori sono la prassi (pandemie permettendo) con molto open day per entrare a tutti gli effetti dentro il lavoro dei ricercatori (e dentro la zona l'acceleratore di particelle, se non è in funzione).
- (inglese) Bruno Mansoulié - **All of Physics (almost) in 15 equations** (su Amazon a 22€)
Molto divulgativo, mantiene il fascino delle equazioni mostrandole senza però la necessità di saperne la matematica dietro. Purtroppo c'è solo in inglese e francese.
- (italiano) Michael Guillen - **Le 5 equazioni che hanno cambiato il mondo** (su Amazon a 10€)
Sempre sul filone delle equazioni, questo libro è più lungo del precedente perché per ognuno dei 5 capitoli (Newton, Bernoulli, Faraday, Clausius e Einstein) spiega prima il contesto storico, poi il lato umano dello scienziato ed infine la profonda rivoluzione portata dalla scoperta. Il più romanzato di questa lista ma comunque il suo scopo è sfatare che la fisica sia mostruosa (oddio forse alcuni fisici lo sono, viste le storie raccontate qua dentro sui Bernoulli).
- (italiano) Carlo Rovelli - **Sette brevi lezioni di fisica** (su Amazon a 10€)
Non sono un grande fan di questo libro forse perché è davvero troppo divulgativo per i miei gusti ma questo lo rende quindi una ottima introduzione a concetti complicati o alla fisica di frontiera.

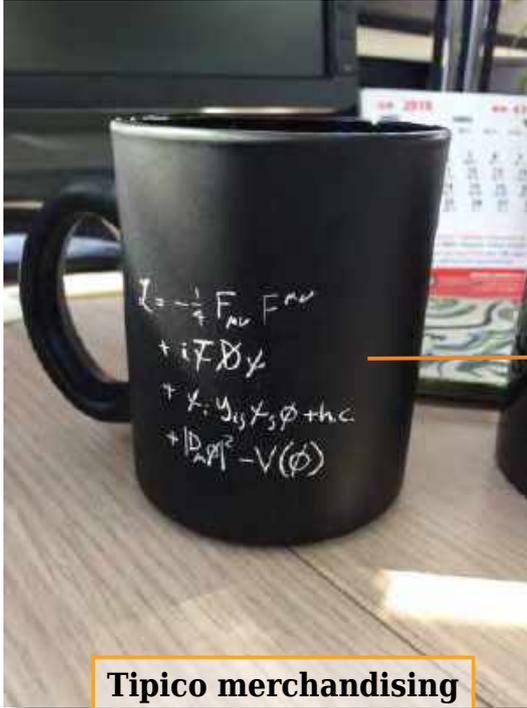
Consigli di Lettura – 2/2

- (italiano) Werner Heisenberg - **Fisica e Oltre** (<https://www.amazon.it/Fisica-oltre-Incontri-protagonisti-1920-1965/dp/8833924165/>)
Uno dei miei libri preferiti, parla dell'uomo dietro la fisica. Heisenberg come pensatore, come filosofo, che fa capire come tutta la rivoluzione della fisica moderna nasce a partire dalle idee di alcuni visionari che con idee rivoluzionarie. E poi tutti i suoi problemi e dubbi come scienziato, insegnante e uomo durante la guerra.
- (italiano) Richard Feynman - **QED** (su Amazon a 10€)
Molto, molto, molto divulgativo: spiega la QED come la spiegava alle sue conferenze (se non sbaglio nasco come trascrizione delle stesse), quindi con esempi facili, specchi e orologi (gli orologi li usa per spiegare la fase complessa delle funzioni d'onda). Per tutta la prima metà è totalmente analogico e non richiede nessuna competenza se non interesse e fantasia. Poi inizia diventare un po' più pratico ma solo per i termini e gli argomenti, non per la difficoltà di trattazione, quando inizia a parlare dei quark, della struttura degli atomi e dei suoi diagrammi.
- (italiano) Douglash R. Hofstadter - **Godel, Escher, Bach** (su Amazon a 22€)
Un mattone di 800 pagine scritto però fluidissimo e comprensibilissimo. Come suggerisce il titolo parla di simmetrie, informatica, musica, filosofia, teoria del linguaggio, paradossi e quant'altro. Consigliatissimo per chi è già polarizzato su interessi di questo genere. (solo dopo ho scoperto che è il figlio dell'Hofstadter premio nobel per gli studi sulla struttura atomica)
- (italiano) Marcus Du Sautoy - **L'enigma dei numeri primi: L'ipotesi di Riemann** (<https://www.amazon.it/Lenigma-dei-numeri-primi-matematica-ebook/dp/B0067BIJRM>)
Io la mia tesina della maturità l'ho fatta su questo libro, perché mi ero impuntato che non capivo perché non poteva essere matematica la materia su cui incentrare la tesina: non mi sembrava affatto meno importante di tante altre materie. Mi ricordo ancora l'incipit "Questo non è un percorso sui Numeri Primi bensì su un Teorema sui Numeri Primi". E ho fatto la presentazione usando questo sito: <https://prezi.com/9upbokkj5h-3/lipotesi-di-riemann/> che rendeva tutto un po' più colorato ed interattivo rispetto a powerpoint.

Cosa aspettarsi:



Tipico studente della facoltà di Fisica



Tipico merchandising del CERN

Tipica espansione di una formula già comunque poco amichevole

$$\begin{aligned}
 \mathcal{L}_{\text{Standard Model}} = & -\frac{1}{4} \partial_\mu g_\nu^\alpha \partial_\mu g_\nu^\alpha - \frac{1}{2} f^{abc} \partial_\mu g_\nu^a \partial_\mu g_\nu^b g_\nu^c + \frac{1}{2} g^2 f^{abc} f^{ade} g_\nu^b g_\nu^c g_\nu^d g_\nu^e + \\
 & \frac{1}{2} g^2 (\partial_\mu^2 - \partial_\mu^2) g_\nu^a + G^a \partial^\mu G^a + g_s f^{abc} \partial_\mu G^a G^b g_\nu^c - \partial_\mu W_\nu^+ \partial_\mu W_\nu^- - \\
 & M^2 W_\nu^+ W_\nu^- - \frac{1}{2} \partial_\mu Z_\nu^0 \partial_\mu Z_\nu^0 - \frac{1}{2} M^2 Z_\nu^0 Z_\nu^0 - \frac{1}{2} \partial_\mu A_\nu \partial_\mu A_\nu - \frac{1}{2} \partial_\mu H \partial_\mu H - \\
 & \frac{1}{2} m_H^2 H^2 - \partial_\mu \phi^\dagger \partial_\mu \phi - M^2 \phi^\dagger \phi - \frac{1}{2} \partial_\mu \rho^\dagger \partial_\mu \rho - \frac{1}{2} M_\rho^2 \rho^\dagger \rho - \lambda_\phi^2 M^2 \phi^\dagger + \\
 & \frac{2M}{\Lambda} H + \frac{1}{2} (H^2 + \phi^\dagger \phi + 2\phi^\dagger \phi) + \frac{2M^2}{\Lambda^2} \alpha_\lambda - i g_{c_w} (\partial_\mu Z_\nu^0 (W_\mu^+ W_\nu^- - \\
 & W_\nu^+ W_\mu^-) - Z_\nu^0 (W_\mu^+ \partial_\mu W_\nu^- - W_\nu^- \partial_\mu W_\mu^+) + Z_\nu^0 (W_\mu^- \partial_\mu W_\nu^+ - \\
 & W_\nu^+ \partial_\mu W_\mu^-)) - i g_{s_w} \partial_\mu A_\nu (W_\mu^+ W_\nu^- - W_\nu^+ W_\mu^-) + A_\nu (W_\mu^+ \partial_\mu W_\nu^- - \\
 & W_\nu^- \partial_\mu W_\mu^+) + A_\nu (W_\mu^- \partial_\mu W_\nu^+ - W_\nu^+ \partial_\mu W_\mu^-) - \frac{1}{2} g^2 W_\mu^+ W_\nu^- W_\nu^+ W_\mu^- + \\
 & \frac{1}{2} g^2 W_\mu^+ W_\nu^- W_\nu^+ W_\mu^- + g^2 c_w^2 (Z_\nu^0 W_\mu^+ Z_\nu^0 W_\mu^- - Z_\nu^0 Z_\mu^0 W_\nu^+ W_\nu^-) + \\
 & g^2 c_w^2 (A_\mu W_\nu^+ A_\mu W_\nu^- - A_\mu A_\nu W_\mu^+ W_\nu^-) + g^2 s_w c_w (A_\mu Z_\nu^0 (W_\mu^+ W_\nu^- - \\
 & W_\nu^+ W_\mu^-) - 2 A_\mu Z_\nu^0 (W_\mu^- W_\nu^+ - W_\nu^+ W_\mu^-)) - g \alpha (H^3 + H \phi^\dagger \phi + 2H \phi^\dagger \phi) - \\
 & \frac{1}{2} g^2 \alpha_\lambda (H^4 + (\phi^\dagger \phi)^2 + 4(\phi^\dagger \phi)^2 + 4(\phi^\dagger \phi)^2 \phi^\dagger \phi + 4H^2 \phi^\dagger \phi + 2(\phi^\dagger \phi)^2 H^2) - \\
 & g M W_\mu^+ W_\nu^- H - \frac{1}{2} g \frac{M}{\Lambda} Z_\nu^0 Z_\mu^0 H - \frac{1}{2} g (W_\mu^+ (\partial^\mu \partial_\mu \phi - \phi^\dagger \partial_\mu \phi) - \\
 & W_\mu^- (\partial^\mu \partial_\mu \phi^\dagger - \phi^\dagger \partial_\mu \phi^\dagger)) + \frac{1}{2} g (W_\mu^+ (H \partial_\mu \phi - \phi^\dagger \partial_\mu H) - W_\mu^- (H \partial_\mu \phi^\dagger - \\
 & \phi^\dagger \partial_\mu H)) + \frac{1}{2} g \frac{1}{\Lambda} (Z_\nu^0 (H \partial_\mu \phi^\dagger - \phi^\dagger \partial_\mu H) - i g \frac{M}{\Lambda} Z_\nu^0 (W_\mu^+ \phi - W_\mu^- \phi^\dagger) + \\
 & i g_{s_w} M A_\nu (W_\mu^+ \phi - W_\mu^- \phi^\dagger) - i g \frac{1-2s_w^2}{2s_w} Z_\nu^0 (\phi^\dagger \partial_\mu \phi - \phi^\dagger \partial_\mu \phi^\dagger) + \\
 & i g_{s_w} A_\nu (\phi^\dagger \partial_\mu \phi - \phi^\dagger \partial_\mu \phi^\dagger) - \frac{1}{4} g^2 W_\mu^+ W_\nu^- [H^2 + (\phi^\dagger \phi)^2 + 2\phi^\dagger \phi] - \\
 & \frac{1}{2} g^2 \frac{1}{\Lambda} Z_\nu^0 Z_\mu^0 [H^2 + (\phi^\dagger \phi)^2 + 2(2c_w^2 - 1)^2 \phi^\dagger \phi] - \frac{1}{2} g^2 \frac{c_w^2}{\Lambda} Z_\nu^0 \phi^\dagger (W_\mu^+ \phi + \\
 & W_\mu^- \phi^\dagger) - \frac{1}{2} i g^2 \frac{c_w^2}{\Lambda} Z_\nu^0 H (W_\mu^+ \phi - W_\mu^- \phi^\dagger) + \frac{1}{2} g^2 s_w A_\nu \partial^\mu (W_\mu^+ \phi + \\
 & W_\mu^- \phi^\dagger) + \frac{1}{2} i g^2 s_w A_\nu H (W_\mu^+ \phi - W_\mu^- \phi^\dagger) - g^2 \frac{c_w^2}{\Lambda} (2c_w^2 - 1) Z_\nu^0 A_\mu \phi^\dagger \phi - \\
 & g^2 s_w^2 A_\mu A_\nu \phi^\dagger \phi - c^4 (\gamma \partial + m_\nu^2) e^4 - \bar{\nu}^2 \gamma \partial \nu^2 - \bar{u}_j^2 (\gamma \partial + m_\nu^2) u_j^2 - \\
 & \bar{d}_j^2 (\gamma \partial + m_\nu^2) d_j^2 + i g_{s_w} A_\mu [(\bar{\nu}^2 \gamma^\mu \nu^2) + \frac{2}{3} (\bar{u}_j^2 \gamma^\mu u_j^2) - \frac{1}{3} (\bar{d}_j^2 \gamma^\mu d_j^2)] + \\
 & \frac{m_\nu}{\Lambda} Z_\nu^0 [(\bar{\nu}^2 \gamma^\mu (1 + \gamma^5) \nu^2) + (\bar{e}^2 \gamma^\mu (2s_w^2 - 1 - \gamma^5) e^2) + (\bar{u}_j^2 \gamma^\mu (\frac{2}{3} s_w^2 - \\
 & 1 - \gamma^5) u_j^2) + (\bar{d}_j^2 \gamma^\mu (1 - \frac{2}{3} s_w^2 - \gamma^5) d_j^2)] + \frac{m_\nu}{2\Lambda} W_\mu^+ [(\bar{\nu}^2 \gamma^\mu (1 + \gamma^5) e^2) + \\
 & (\bar{u}_j^2 \gamma^\mu (1 + \gamma^5) C_{\lambda\nu} d_j^2)] + \frac{m_\nu}{2\Lambda} W_\mu^- [(\bar{e}^2 \gamma^\mu (1 + \gamma^5) \nu^2) + (\bar{d}_j^2 C_{\lambda\nu} \gamma^\mu (1 + \\
 & \gamma^5) u_j^2)] + \frac{m_\nu}{2\Lambda} \frac{m_\nu}{\Lambda} [-\phi^\dagger (\bar{\nu}^2 (1 - \gamma^5) e^2) + \phi^\dagger (\bar{e}^2 (1 + \gamma^5) \nu^2)] - \\
 & \frac{2}{3} \frac{m_\nu}{\Lambda} [H (\bar{\nu}^2 e^2) + i \phi^\dagger (\bar{e}^2 \gamma^5 e^2) + \frac{m_\nu}{2\sqrt{2}} \phi^\dagger [-m_\nu^2 (\bar{u}_j^2 C_{\lambda\nu} (1 - \gamma^5) d_j^2) + \\
 & m_\nu^2 (\bar{u}_j^2 C_{\lambda\nu} (1 + \gamma^5) d_j^2) + \frac{m_\nu^2}{2\sqrt{2}} \phi^\dagger [m_\nu^2 (\bar{d}_j^2 C_{\lambda\nu}^1 (1 + \gamma^5) u_j^2) - m_\nu^2 (\bar{d}_j^2 C_{\lambda\nu}^1 (1 - \\
 & \gamma^5) u_j^2) - \frac{m_\nu^2}{\Lambda} H (\bar{u}_j^2 u_j^2) - \frac{m_\nu^2}{\Lambda} H (\bar{d}_j^2 d_j^2) + \frac{m_\nu^2}{\Lambda} \phi^\dagger (\bar{u}_j^2 \gamma^5 u_j^2) - \\
 & \frac{m_\nu^2}{\Lambda} \phi^\dagger (\bar{d}_j^2 \gamma^5 d_j^2)] + \bar{X}^\dagger (\partial^2 - M^2) X^\dagger + \bar{X}^\dagger (\partial^2 - M^2) X^\dagger + \bar{X}^\dagger (\partial^2 - \\
 & \frac{M^2}{\Lambda} X^\dagger + \bar{Y} \partial^2 Y + i g_{c_w} W_\mu^+ (\partial_\mu \bar{X} X^\dagger - \partial_\mu \bar{X} X^\dagger) + i g_{s_w} W_\mu^+ (\partial_\mu \bar{X} X^\dagger - \\
 & \partial_\mu \bar{X} X^\dagger) + i g_{c_w} W_\mu^- (\partial_\mu \bar{X} X^\dagger - \partial_\mu \bar{X} X^\dagger) + i g_{s_w} W_\mu^- (\partial_\mu \bar{X} X^\dagger - \\
 & \partial_\mu \bar{X} X^\dagger) + i g_{c_w} Z_\nu^0 (\partial_\mu \bar{X} X^\dagger - \partial_\mu \bar{X} X^\dagger) + i g_{s_w} A_\mu (\partial_\mu \bar{X} X^\dagger - \\
 & \partial_\mu \bar{X} X^\dagger) - \frac{1}{2} g M [\bar{X}^\dagger X^\dagger H + \bar{X}^\dagger X^\dagger H + \frac{1}{2} \bar{X}^\dagger X^\dagger H] + \\
 & \frac{1-3c_w^2}{2s_w} i g M [\bar{X}^\dagger X^\dagger \phi^\dagger - \bar{X}^\dagger X^\dagger \phi^\dagger] + \frac{1}{2s_w} i g M [\bar{X}^\dagger X^\dagger \phi^\dagger - \bar{X}^\dagger X^\dagger \phi^\dagger] + \\
 & \frac{1}{2} i g M s_w [\bar{X}^\dagger X^\dagger \phi^\dagger - \bar{X}^\dagger X^\dagger \phi^\dagger] + \frac{1}{2} i g M [\bar{X}^\dagger X^\dagger \phi^\dagger - \bar{X}^\dagger X^\dagger \phi^\dagger].
 \end{aligned}$$