



IL DOMANI SI **ATTIVA** OGGI

Festival della formazione **2022**

TAVOLA ROTONDA

Una lezione da Nobel: alla scoperta dei sistemi complessi

Relatori: Fabiola Gianotti, Dario Menasce, Luca Perri

**Buon decennale caro
bosone di Higgs!**

4 Luglio 2012

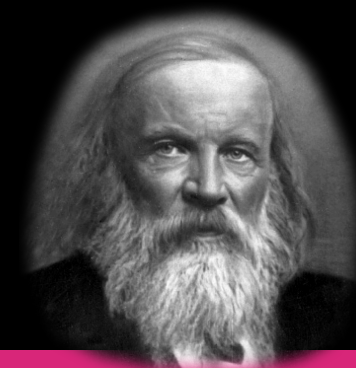




La geniale intuizione di Mendeleev

The diagram illustrates the periodic table with three elements highlighted in colored boxes, arranged in two columns. The left column contains elements from the s-block, and the right column contains elements from the p-block.

Element	Symbol	Atomic Number	Block
Calcium	Ca	20	s-block
Barium	Ba	56	s-block
Strontium	Sr	38	s-block
Iodine	I	53	p-block
Chlorine	Cl	17	p-block
Bromine	Br	35	p-block

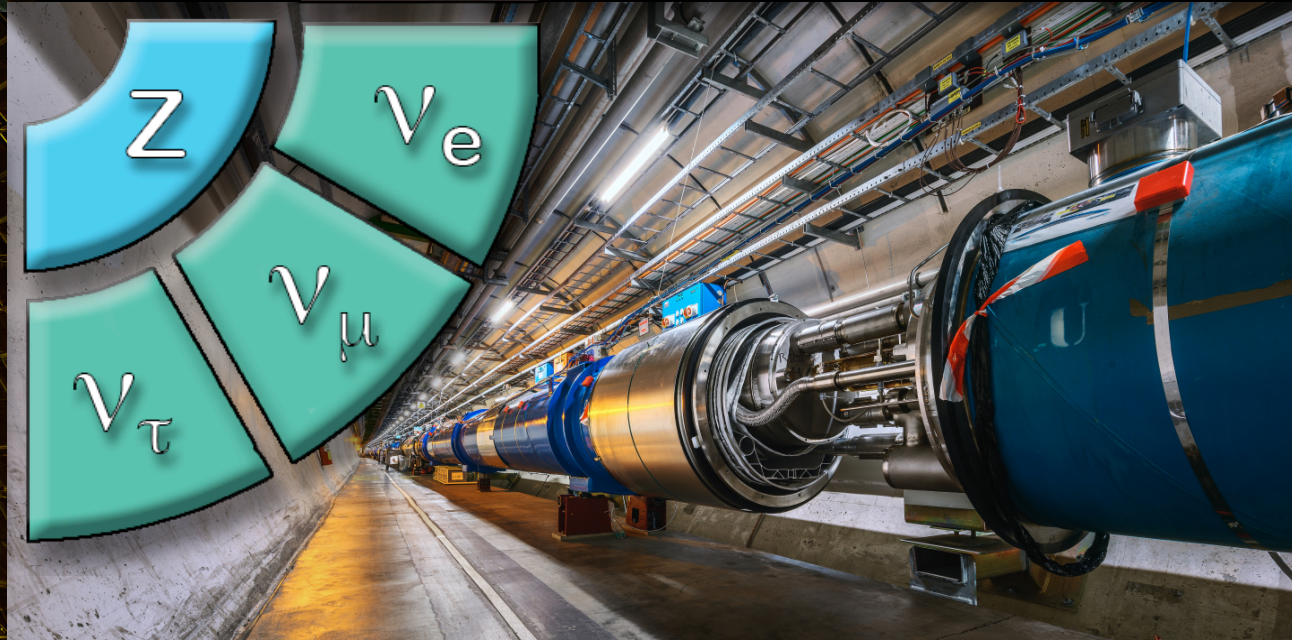
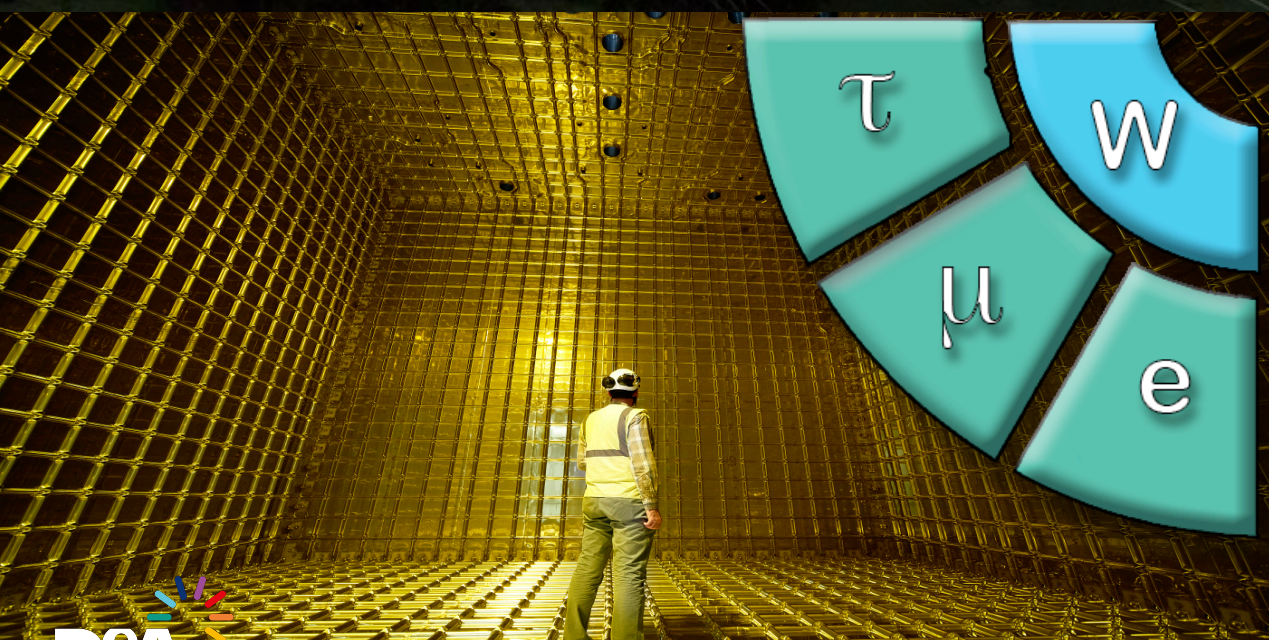
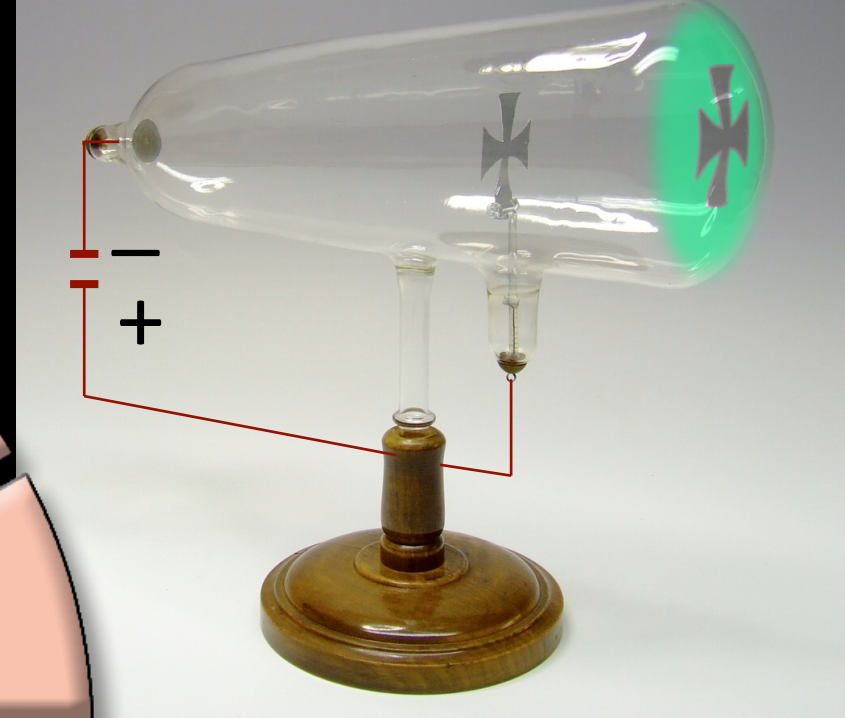
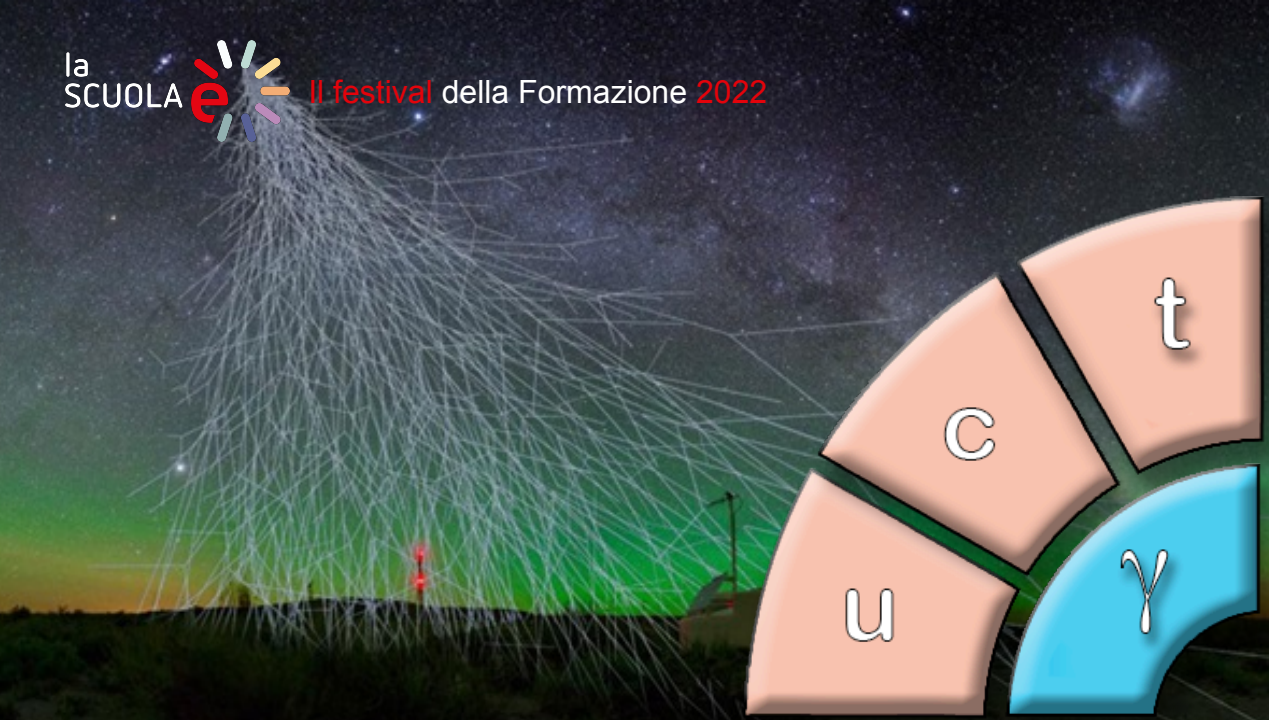


In un tempo relativamente breve, partendo da questi, fu in grado di costruire uno schema:

Non corrispondevano a nessun elemento conosciuto ma lui era così convinto che lo schema fosse lì a suggerire un messaggio che si chiese da dove cominciare per investigare.

La Tabella Periodica degli Elementi di Mendeleev

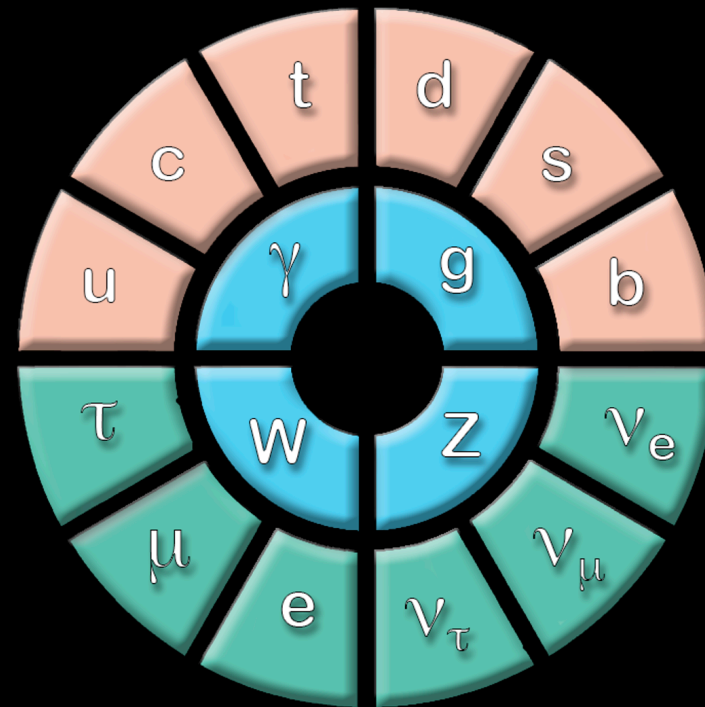
1 H Hydrogen 1.008 1																	2 He Helium 4.0026 2
3 Li Lithium 6.94 2-1	4 Be Beryllium 9.0122 2-2											5 B Boron 10.81 2-3	6 C Carbon 12.011 2-4	7 N Nitrogen 14.007 2-5	8 O Oxygen 15.999 2-6	9 F Fluorine 18.998 2-7	10 Ne Neon 20.180 2-8
11 Na Sodium 22.98976928 2-8-1	12 Mg Magnesium 24.305 2-8-2											13 Al Aluminium 26.982 2-8-3	14 Si Silicon 28.085 2-8-4	15 P Phosphorus 30.974 2-8-5	16 S Sulfur 32.06 2-8-6	17 Cl Chlorine 35.45 2-8-7	18 Ar Argon 39.948 2-8-8
19 K Potassium 39.0983 2-8-8-1	20 Ca Calcium 40.078 2-8-8-2	21 Sc Scandium 44.955908 2-8-9-2	22 Ti Titanium 47.867 2-8-10-2	23 V Vanadium 50.9415 2-8-11-2	24 Cr Chromium 51.9961 2-8-13-1	25 Mn Manganese 54.938044 2-8-13-2	26 Fe Iron 55.845 2-8-14-2	27 Co Cobalt 58.933 2-8-15-2	28 Ni Nickel 58.693 2-8-16-2	29 Cu Copper 63.546 2-8-18-1	30 Zn Zinc 65.38 2-8-18-2	31 Ga Gallium 69.723 2-8-18-3	32 Ge Germanium 72.630 2-8-18-4	33 As Arsenic 74.922 2-8-18-5	34 Se Selenium 78.971 2-8-18-6	35 Br Bromine 79.904 2-8-18-7	36 Kr Krypton 83.798 2-8-18-8
37 Rb Rubidium 85.4678 2-8-18-8-1	38 Sr Strontium 87.62 2-8-18-8-2	39 Y Yttrium 88.90584 2-8-18-9-2	40 Zr Zirconium 91.224 2-8-18-10-2	41 Nb Niobium 92.90637 2-8-18-12-1	42 Mo Molybdenum 95.95 2-8-18-13-1	43 Tc Technetium (98) 2-8-18-13-2	44 Ru Ruthenium 101.07 2-8-18-15-1	45 Rh Rhodium 102.91 2-8-18-16-1	46 Pd Palladium 106.42 2-8-18-18	47 Ag Silver 107.87 2-8-18-18-1	48 Cd Cadmium 112.41 2-8-18-18-2	49 In Indium 114.82 2-8-18-18-3	50 Sn Tin 118.71 2-8-18-18-4	51 Sb Antimony 121.76 2-8-18-18-5	52 Te Tellurium 127.60 2-8-18-18-6	53 I Iodine 126.90 2-8-18-18-7	54 Xe Xenon 131.29 2-8-18-18-8
55 Cs Caesium 132.90545196 2-8-18-18-8-1	56 Ba Barium 137.327 2-8-18-18-8-2	57-71 Lanthanides	72 Hf Hafnium 178.49 2-8-18-32-10-2	73 Ta Tantalum 180.94788 2-8-18-32-11-2	74 W Tungsten 183.84 2-8-18-32-12-2	75 Re Rhenium 186.21 2-8-18-32-13-2	76 Os Osmium 190.23 2-8-18-32-14-2	77 Ir Iridium 192.22 2-8-18-32-15-2	78 Pt Platinum 195.08 2-8-18-32-17-1	79 Au Gold 196.97 2-8-18-32-18-1	80 Hg Mercury 200.59 2-8-18-32-18-2	81 Tl Thallium 204.38 2-8-18-32-18-3	82 Pb Lead 207.2 2-8-18-32-18-4	83 Bi Bismuth 208.98 2-8-18-32-18-5	84 Po Polonium (209) 2-8-18-32-18-6	85 At Astatine (210) 2-8-18-32-18-7	86 Rn Radon (222) 2-8-18-32-18-8
87 Fr Francium (223) 2-8-18-32-18-8-1	88 Ra Radium (226) 2-8-18-32-18-8-2	89-103 Actinides	104 Rf Rutherfordium (261) 2-8-18-32-32-10-2	105 Db Dubnium (268) 2-8-18-32-32-11-2	106 Sg Seaborgium (266) 2-8-18-32-32-12-2	107 Bh Bohrium (270) 2-8-18-32-32-13-2	108 Hs Hassium (277) 2-8-18-32-32-14-2	109 Mt Meitnerium (278) 2-8-18-32-32-15-2	110 Ds Darmstadtium (281) 2-8-18-32-32-17-1	111 Rg Roentgenium (282) 2-8-18-32-32-17-2	112 Cn Copernicium (285) 2-8-18-32-32-18-2	113 Nh Nihonium (286) 2-8-18-32-32-18-3	114 Fl Flerovium (289) 2-8-18-32-32-18-4	115 Mc Moscovium (290) 2-8-18-32-32-18-5	116 Lv Livermorium (293) 2-8-18-32-32-18-6	117 Ts Tennessine (294) 2-8-18-32-32-18-7	118 Og Oganesson (294) 2-8-18-32-32-18-8
			57 La Lanthanum 138.91 2-8-18-18-9-2	58 Ce Cerium 140.12 2-8-18-18-9-2	59 Pr Praseodymium 140.91 2-8-18-18-9-2	60 Nd Neodymium 144.24 2-8-18-18-9-2	61 Pm Promethium (145) 2-8-18-18-9-2	62 Sm Samarium 150.36 2-8-18-18-9-2	63 Eu Europium 151.96 2-8-18-18-9-2	64 Gd Gadolinium 157.25 2-8-18-18-9-2	65 Tb Terbium 158.93 2-8-18-18-9-2	66 Dy Dysprosium 162.50 2-8-18-18-9-2	67 Ho Holmium 164.93 2-8-18-18-9-2	68 Er Erbium 167.26 2-8-18-18-9-2	69 Tm Thulium 168.93 2-8-18-18-9-2	70 Yb Ytterbium 173.05 2-8-18-18-9-2	71 Lu Lutetium 174.97 2-8-18-18-9-2
			89 Ac Actinium (227) 2-8-18-32-18-9-2	90 Th Thorium 232.04 2-8-18-32-18-9-2	91 Pa Protactinium 231.04 2-8-18-32-18-9-2	92 U Uranium 238.03 2-8-18-32-18-9-2	93 Np Neptunium (237) 2-8-18-32-18-9-2	94 Pu Plutonium (244) 2-8-18-32-18-9-2	95 Am Americium (243) 2-8-18-32-18-9-2	96 Cm Curium (247) 2-8-18-32-18-9-2	97 Bk Berkelium (247) 2-8-18-32-18-9-2	98 Cf Californium (251) 2-8-18-32-18-9-2	99 Es Einsteinium (252) 2-8-18-32-18-9-2	100 Fm Fermium (257) 2-8-18-32-18-9-2	101 Md Mendelevium (258) 2-8-18-32-18-9-2	102 No Nobelium (259) 2-8-18-32-18-9-2	103 Lr Lawrencium (260) 2-8-18-32-18-9-2



Non ci ricorda qualcosa questo schema?...

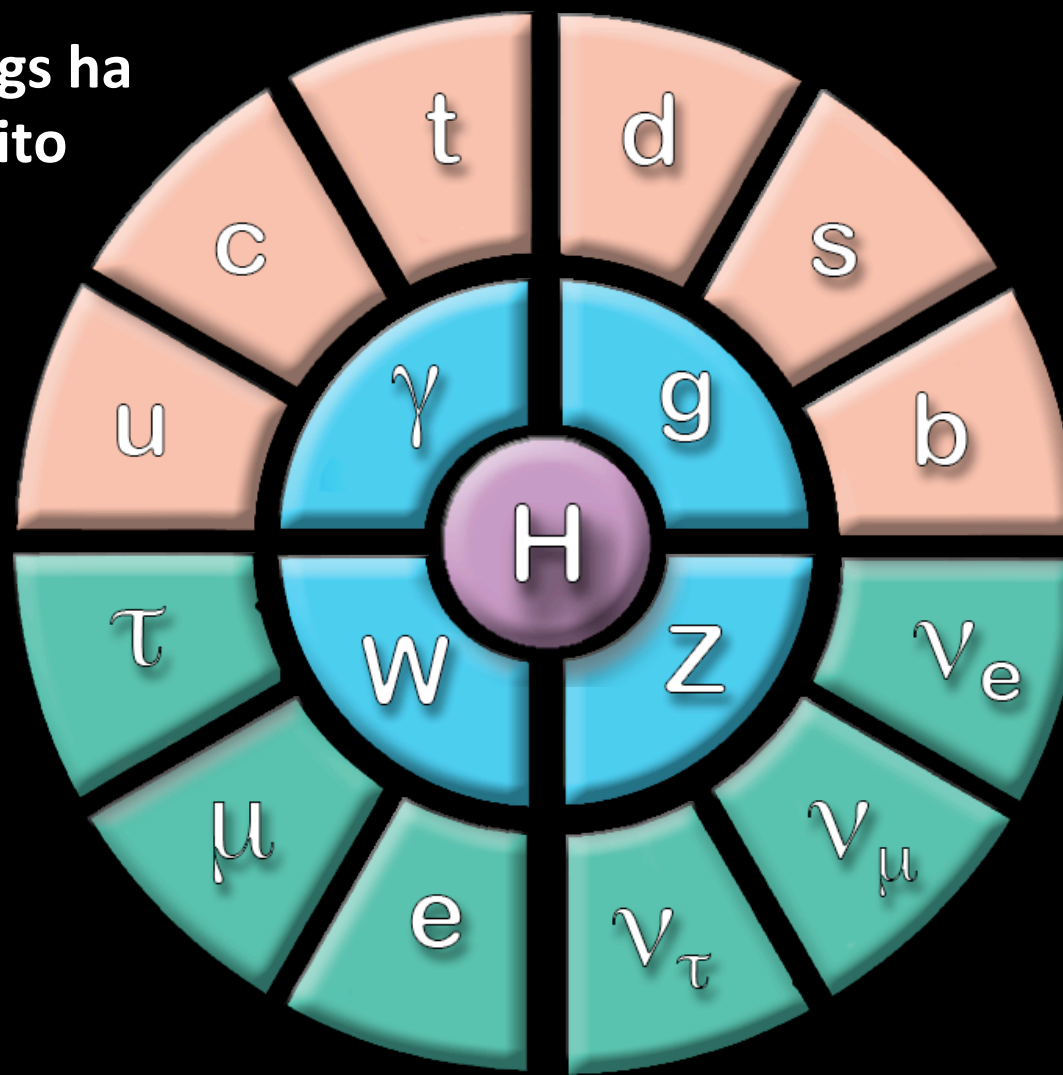
La tavola di Mendeleev rappresenta ciò che sappiamo della chimica mentre la tabella del Modello Standard rappresenta ciò che sappiamo di tutta la materia *ordinaria* dell'Universo.

1																2																																																																																																																																																																																																																															
H Hydrogen 1.008																He Helium 4.009																																																																																																																																																																																																																															
3		4														5		6		7		8		9		10																																																																																																																																																																																																																					
Li Lithium 6.94		Be Beryllium 9.01														B Boron 10.81		C Carbon 12.01		N Nitrogen 14.01		O Oxygen 15.99		F Fluorine 18.99		Ne Neon 20.18																																																																																																																																																																																																																					
11		12														13		14		15		16		17		18																																																																																																																																																																																																																					
Na Sodium 22.99		Mg Magnesium 24.31														Al Aluminum 26.98		Si Silicon 28.09		P Phosphorus 30.97		S Sulfur 32.06		Cl Chlorine 35.45		Ar Argon 39.95																																																																																																																																																																																																																					
19		20		21		22		23		24		25		26		27		28		29		30		31		32		33		34		35		36																																																																																																																																																																																																													
K Potassium 39.09		Ca Calcium 40.08		Sc Scandium 44.96		Ti Titanium 47.88		V Vanadium 50.94		Cr Chromium 51.99		Mn Manganese 54.94		Fe Iron 55.85		Co Cobalt 58.93		Ni Nickel 58.69		Cu Copper 63.55		Zn Zinc 65.38		Ga Gallium 69.72		Ge Germanium 72.63		As Arsenic 74.92		Se Selenium 78.96		Br Bromine 79.90		Kr Krypton 83.79																																																																																																																																																																																																													
37		38		39		40		41		42		43		44		45		46		47		48		49		50		51		52		53		54																																																																																																																																																																																																													
Rb Rubidium 85.47		Sr Strontium 87.62		Y Yttrium 88.91		Zr Zirconium 91.22		Nb Niobium 92.91		Mo Molybdenum 95.94		Tc Technetium 98.91		Ru Ruthenium 101.07		Rh Rhodium 102.91		Pd Palladium 106.42		Ag Silver 107.87		Cd Cadmium 112.41		In Indium 114.82		Sn Tin 118.71		Sb Antimony 121.76		Te Tellurium 127.60		I Iodine 126.90		Xe Xenon 131.29																																																																																																																																																																																																													
55		56		57-71		72		73		74		75		76		77		78		79		80		81		82		83		84		85		86																																																																																																																																																																																																													
Cs Cesium 132.91		Ba Barium 137.33		Lanthanides		Hf Hafnium 178.49		Ta Tantalum 180.95		W Tungsten 183.84		Re Rhenium 186.21		Os Osmium 190.23		Ir Iridium 192.22		Pt Platinum 195.08		Au Gold 196.97		Hg Mercury 200.59		Tl Thallium 204.38		Pb Lead 207.2		Bi Bismuth 208.98		Po Polonium 209		At Astatine 210		Rn Radon 222																																																																																																																																																																																																													
87		88		89-103		104		105		106		107		108		109		110		111		112		113		114		115		116		117		118																																																																																																																																																																																																													
Fr Francium 223		Ra Radium 226		Actinides		Rf Rutherfordium 261		Db Dubnium 262		Sg Seaborgium 266		Bh Bohrium 264		Hs Hassium 277		Mt Meitnerium 268		Ds Darmstadtium 271		Rg Roentgenium 272		Cn Copernicium 285		Nh Nihonium 286		Fl Flerovium 289		Mc Moscovium 290		Lv Livermorium 293		Ts Tennessine 294		Og Oganesson 294																																																																																																																																																																																																													
57																58																59																60																61																62																63																64																65																66																67																68																69																70																71															
La Lanthanum 138.91																Ce Cerium 140.12																Pr Praseodymium 140.91																Nd Neodymium 144.24																Pm Promethium 145																Sm Samarium 150.36																Eu Europium 151.96																Gd Gadolinium 157.25																Tb Terbium 158.93																Dy Dysprosium 162.50																Ho Holmium 164.93																Er Erbium 167.26																Tm Thulium 168.93																Yb Ytterbium 173.05																Lu Lutetium 174.97															
89																90																91																92																93																94																95																96																97																98																99																100																101																102																103															
Ac Actinium 227																Th Thorium 232.04																Pa Protactinium 231.04																U Uranium 238.03																Np Neptunium 237.05																Pu Plutonium 244.06																Am Americium 243.06																Cm Curium 247.07																Bk Berkelium 247.07																Cf Californium 251.08																Es Einsteinium 252.08																Fm Fermium 257.10																Md Mendelevium 258.10																No Nobelium 259.10																Lr Lawrencium 262.10															



Un brillante schema teorico, una meravigliosa semplificazione che però, per come formulata in origine, funzionava unicamente descrivendo un mondo di particelle che fossero prive di massa...

**Il bosone di Higgs ha
proprio il compito
di completare
questa
antipatica
lacuna**



Un momento, ma che diavolo è la massa?



Marina del Castell

Parafrasando sant'Agostino d'Ippona:

*Se nessuno me lo chiede, lo so;
se devo spiegarlo a chi me lo chiede, non lo so più*

Chiariamo con un esempio

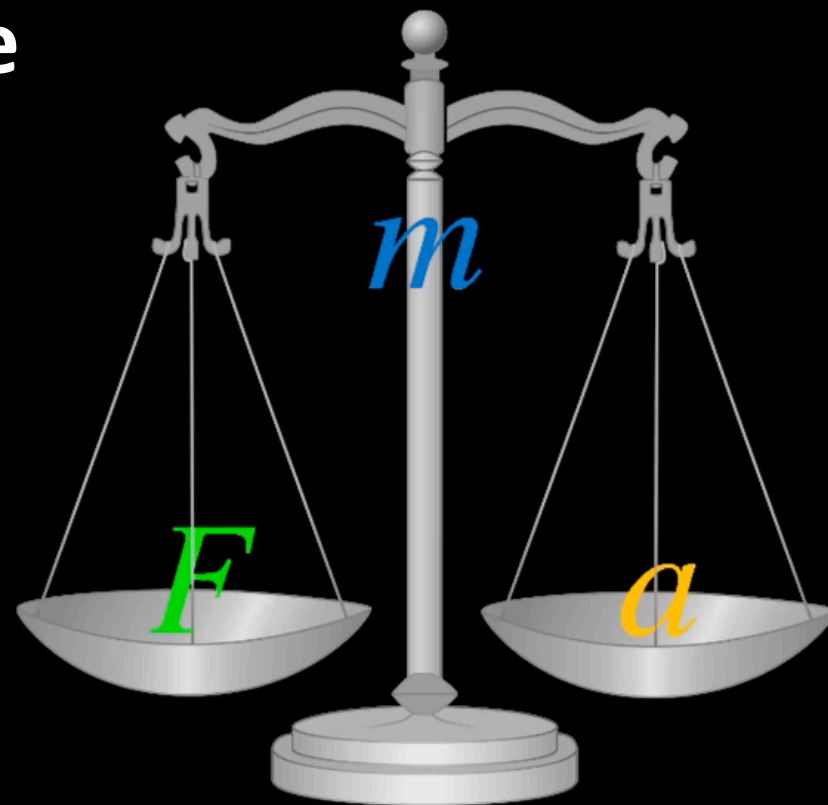
Newton definisce la massa come

una misura della riluttanza di un corpo a cambiare il suo stato di moto quando viene sottoposto ad una forza

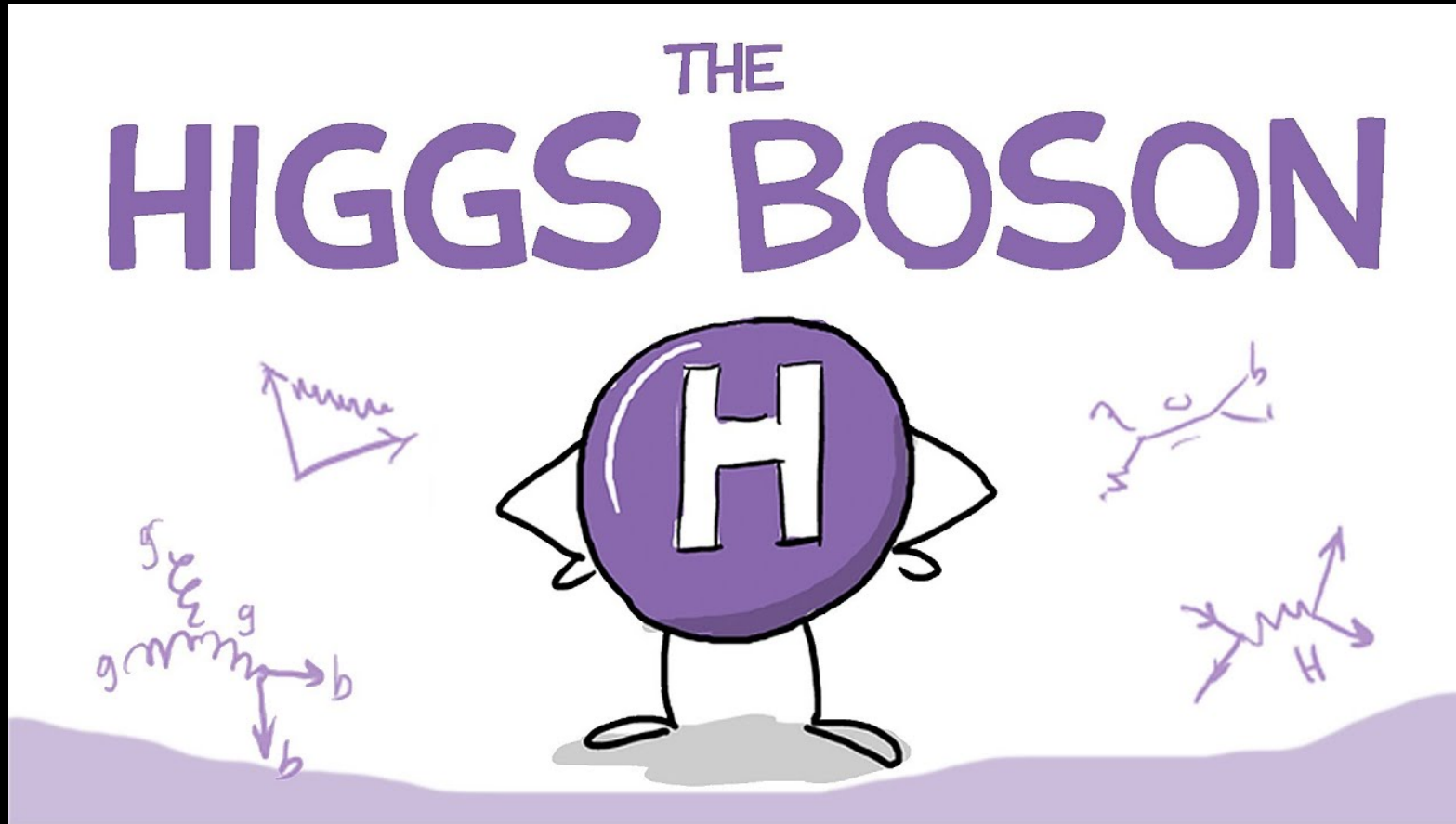


Maggiore questa riluttanza, maggiore diremo che sarà la massa del corpo.

**Lungi dallo spiegare qualcosa, questo concetto nascondeva invece la sua totale ignoranza sulla vera causa di questa *riluttanza*, fatto di cui Newton era, all'epoca, profondamente conscio
(*"hypotesis non fingo"*)**

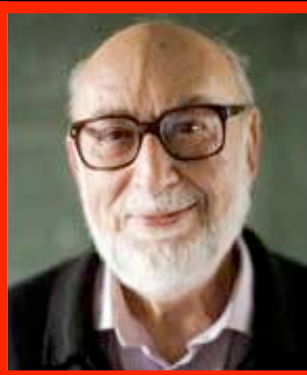


E il bosone di Higgs?





R. Brout



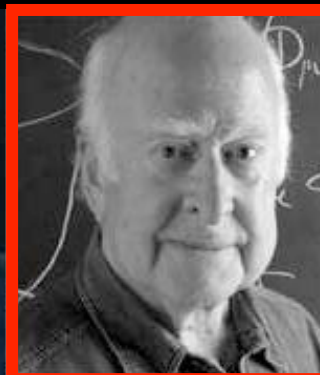
F. Englert



G. Guralnik



C.R. Hagen



P. Higgs



T. Kibble

Nel 1964 questi sei signori elaborarono un meccanismo teorico mediante il quale le **particelle elementari** acquisiscono una sorta di **riluttanza** ad essere accelerate se sottoposte ad una forza... (sottolineo che questo meccanismo spiega solo la massa delle particelle elementari)

Si tratta di un concetto molto (molto) astratto, descrivibile solo mediante un sofisticato linguaggio matematico, ma di fatto questa riluttanza a cambiare stato di moto, se sottoposte ad una forza, corrisponde a rappresentare le **particelle elementari** come se fossero provviste di una massa. Vediamo di capire questo fenomeno mediante opportuni esempi semplificati, imprecisi, ma in qualche modo comprensibili...

Le particelle elementari sono perturbazioni di un campo

Un esempio di campo che possiamo facilmente visualizzare è l'aria che ci circonda.

Quando l'aria è in quiete non ci accorgiamo della sua presenza, anche se è dappertutto



Quando invece l'aria si muove (il campo è dotato di energia), a seconda dell'intensità con cui si muove ci accorgiamo molto bene della sua



In modo analogo, Higgs e colleghi ipotizzarono che lo spazio fosse permeato da un campo, con caratteristiche del tutto peculiari.

Anzitutto il valore di questo campo, quando è in quiete, non è zero (in analogia a una gentile brezza perenne, analogia impropria ma suggestiva). Nel caso del campo di Higgs, però, anche muovendoci entro il suo campo, non possiamo "percepirlo". Un campo elettromagnetico, pur se presente ovunque, può anche essere "spento".

Un campo di Higgs si comporta come tutti i campi: fornendogli una grande quantità di energia si riesce ad "*eccitarlo*", a "*estrarre*" i singoli bosoni di Higgs. così come i *fotoni* sono una manifestazione del campo elettro- magnetico in forma di "*particelle*" così lo sono i bosoni di Higgs nel caso del campo di Higgs.

I bosoni di Higgs sono 120 volte più pesanti di un protone e sono altamente instabili, decadono in altre particelle in meno di 10^{-22} secondi: quindi, una volta estratti, percorrono meno del diametro di un nucleo atomico prima di sparire in un fiotto di particelle.

Vediamo cosa prevede la teoria



Il meccanismo di Higgs







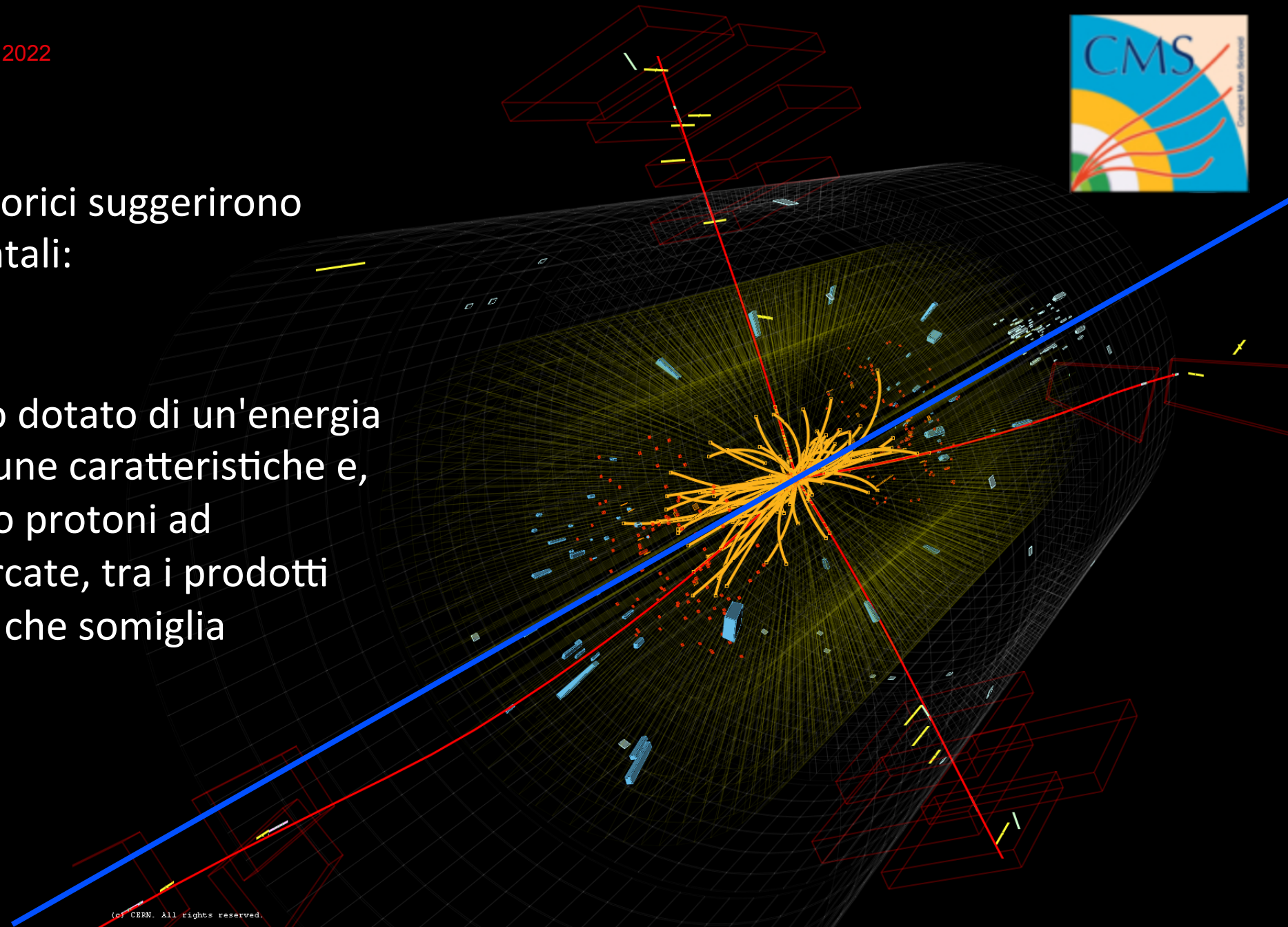


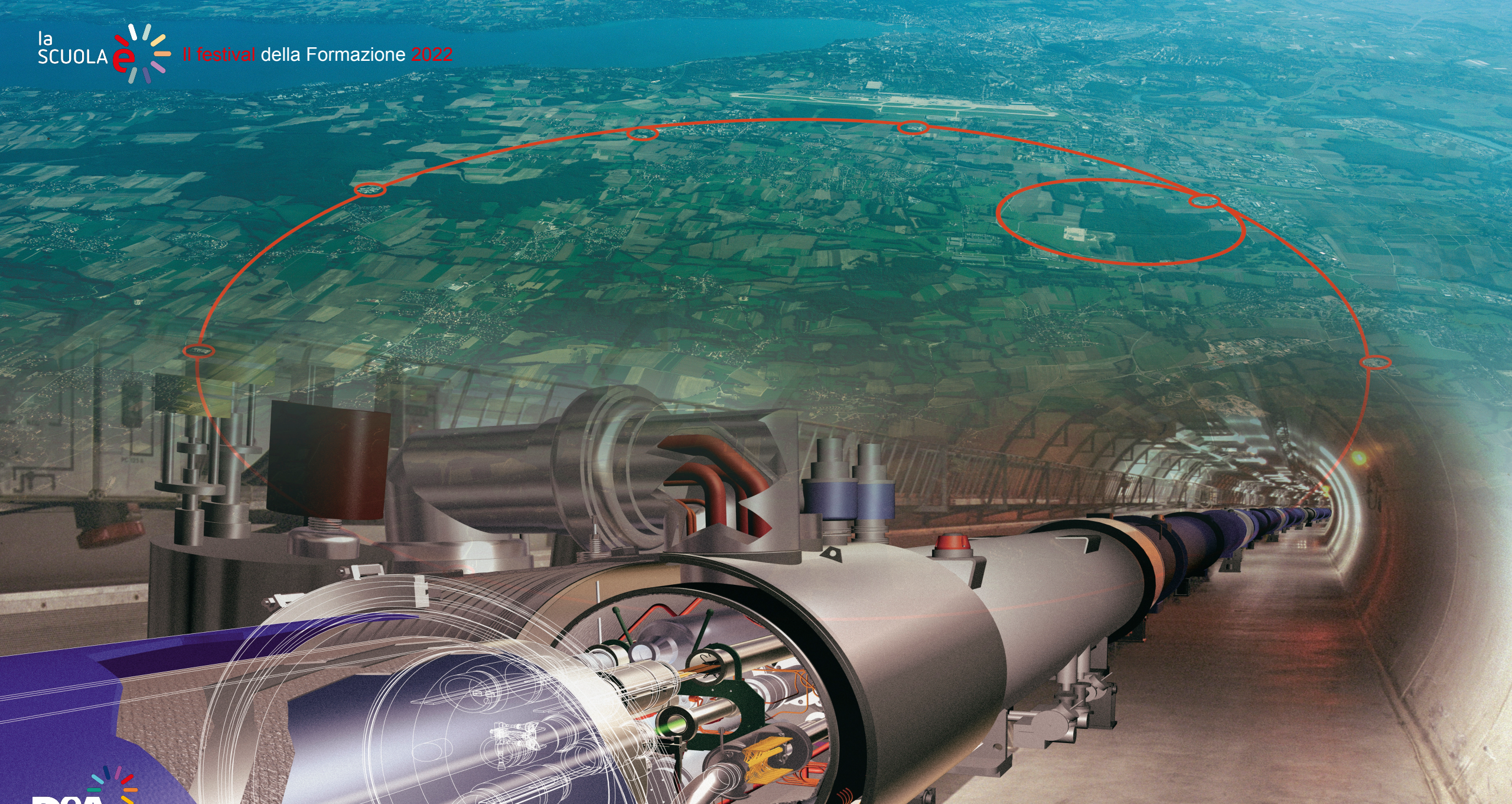


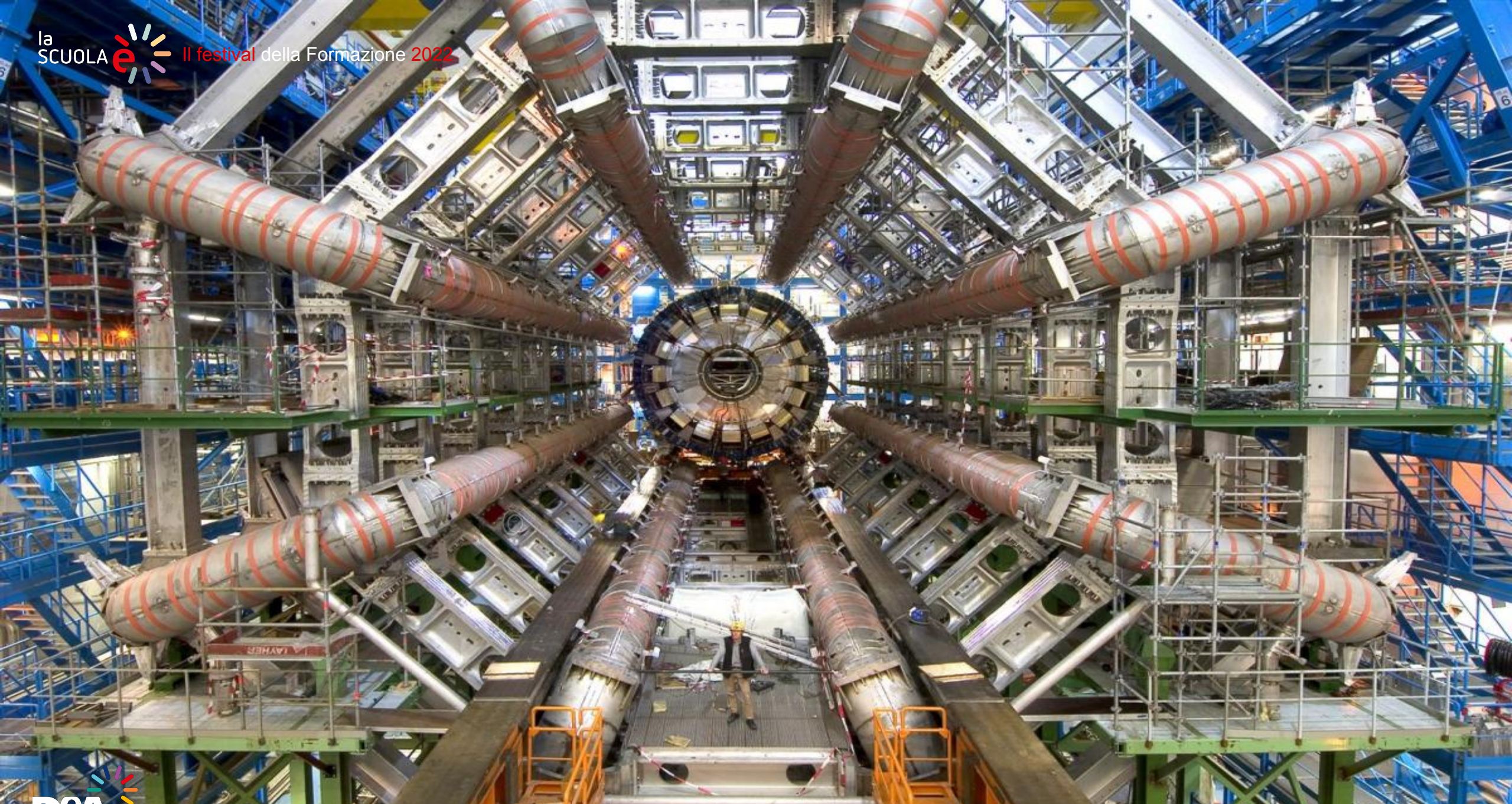


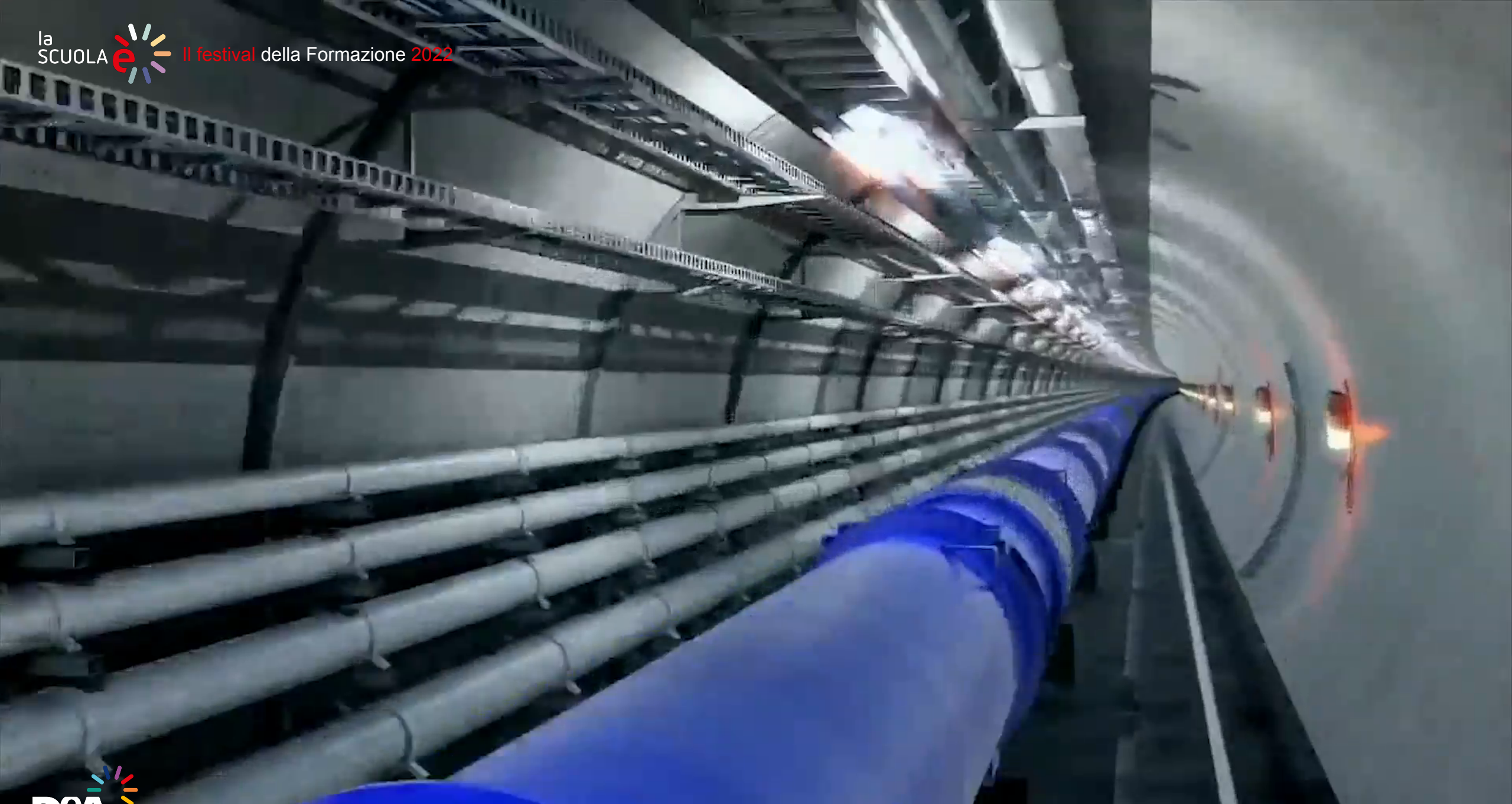
Ecco quindi che i fisici teorici suggerirono
ai loro colleghi sperimentali:

costruite un apparecchio dotato di un'energia
adeguata, con le opportune caratteristiche e,
facendo collidere tra loro protoni ad
elevatissima energia, cercate, tra i prodotti
delle collisioni, qualcosa che somiglia
questo....

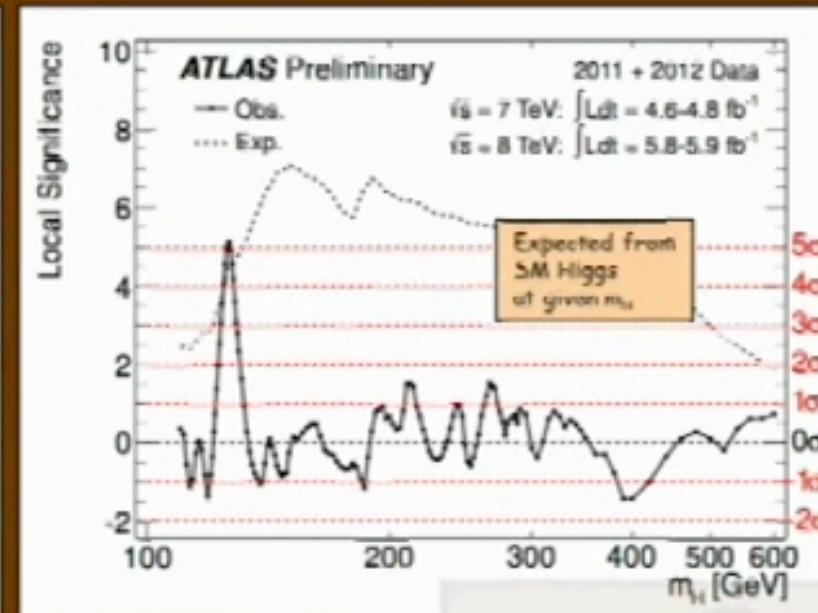
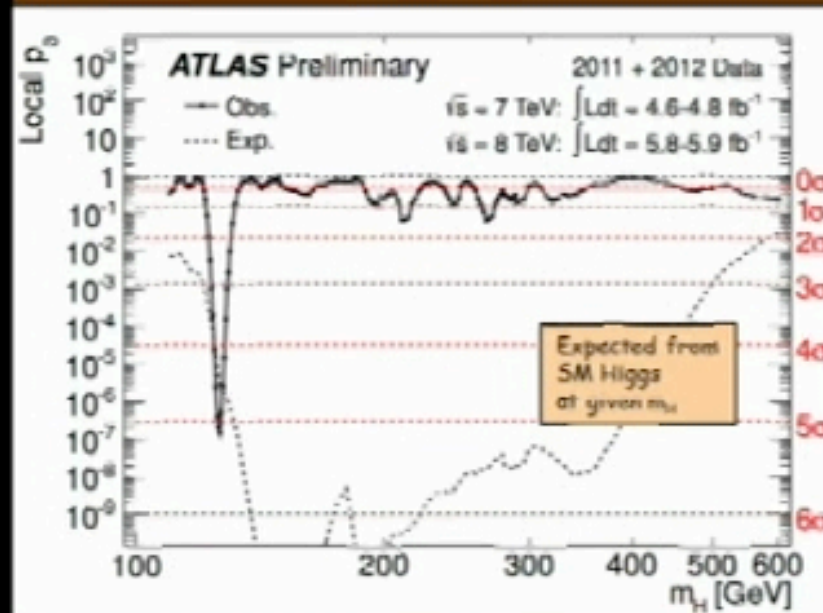








Combined results: consistency of the data with the background-only expectation and significance of the excess



Excellent consistency (better than 2σ !) of the data with the background-only hypothesis over full mass spectrum

*"Per i contributi innovativi alla
comprensione dei sistemi complessi"*

Premio Nobel per la Fisica 2022
a Giorgio Parisi

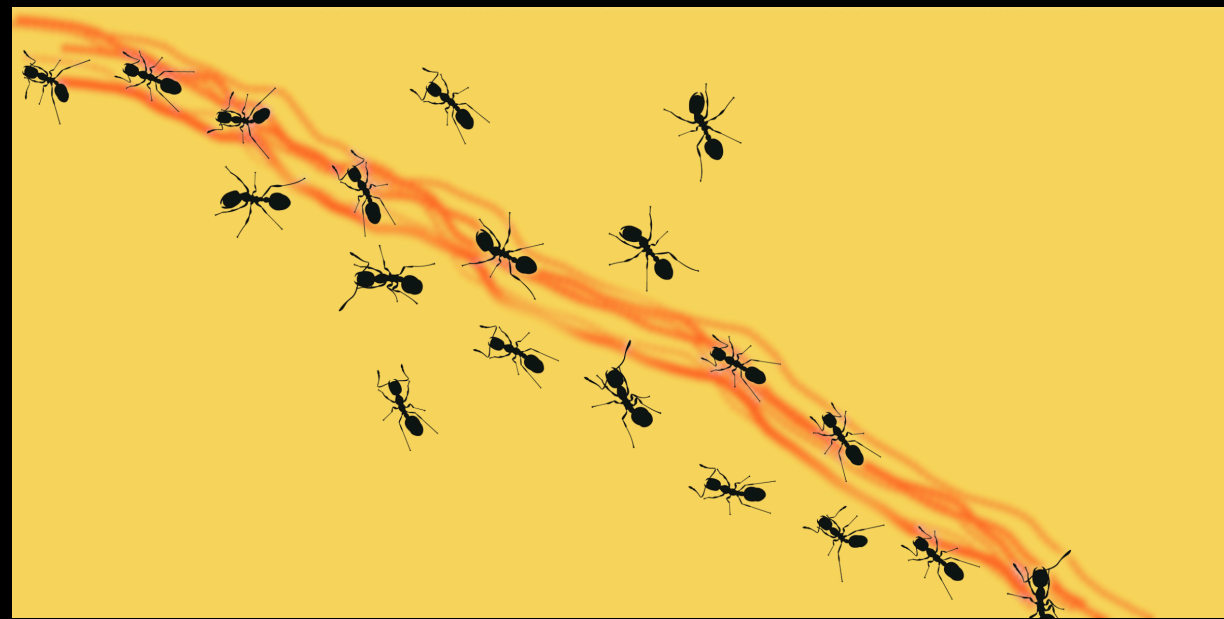
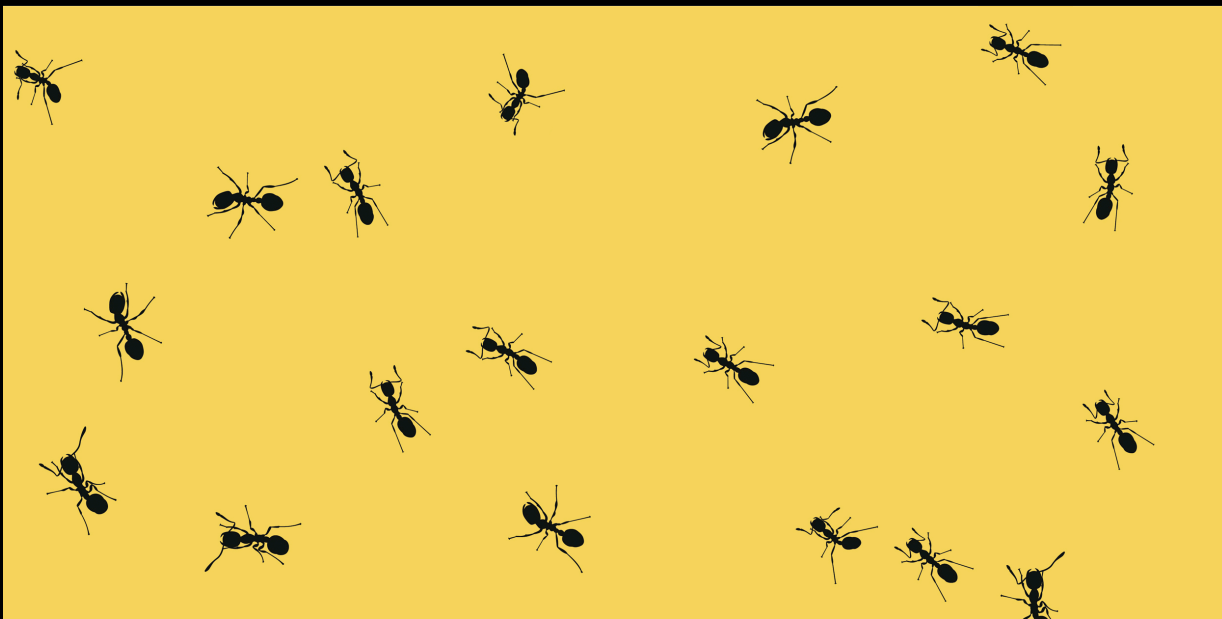
Un sistema complesso???

Un sistema complesso è un insieme di componenti dinamiche (che variano nel tempo), ognuna delle quali interagisce e modifica tutte le altre mediante un comportamento non lineare.

?!?!....



Il tutto è più della somma delle sue parti



Possiamo immaginare una versione meccanica e semplificata del medesimo fenomeno



La cosa davvero interessante dei sistemi complessi è che sono in grado di esibire comportamenti di auto-organizzazione che tipicamente siamo abituati ad associare alle forme viventi, biologiche



I fenomeni complessi sono legati al concetto di frattale

Si tratta di strutture ottenute ripetendo in modo ricorsivo lo stesso algoritmo.

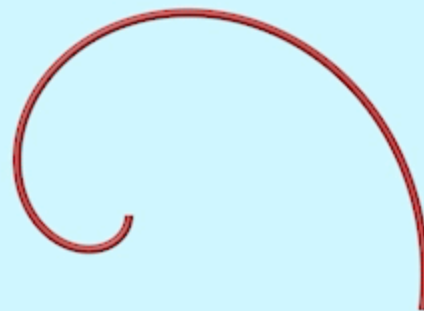
Un esempio: la spirale di Archimede

$$\boxed{?} = \boxed{?} \times \boxed{?}$$

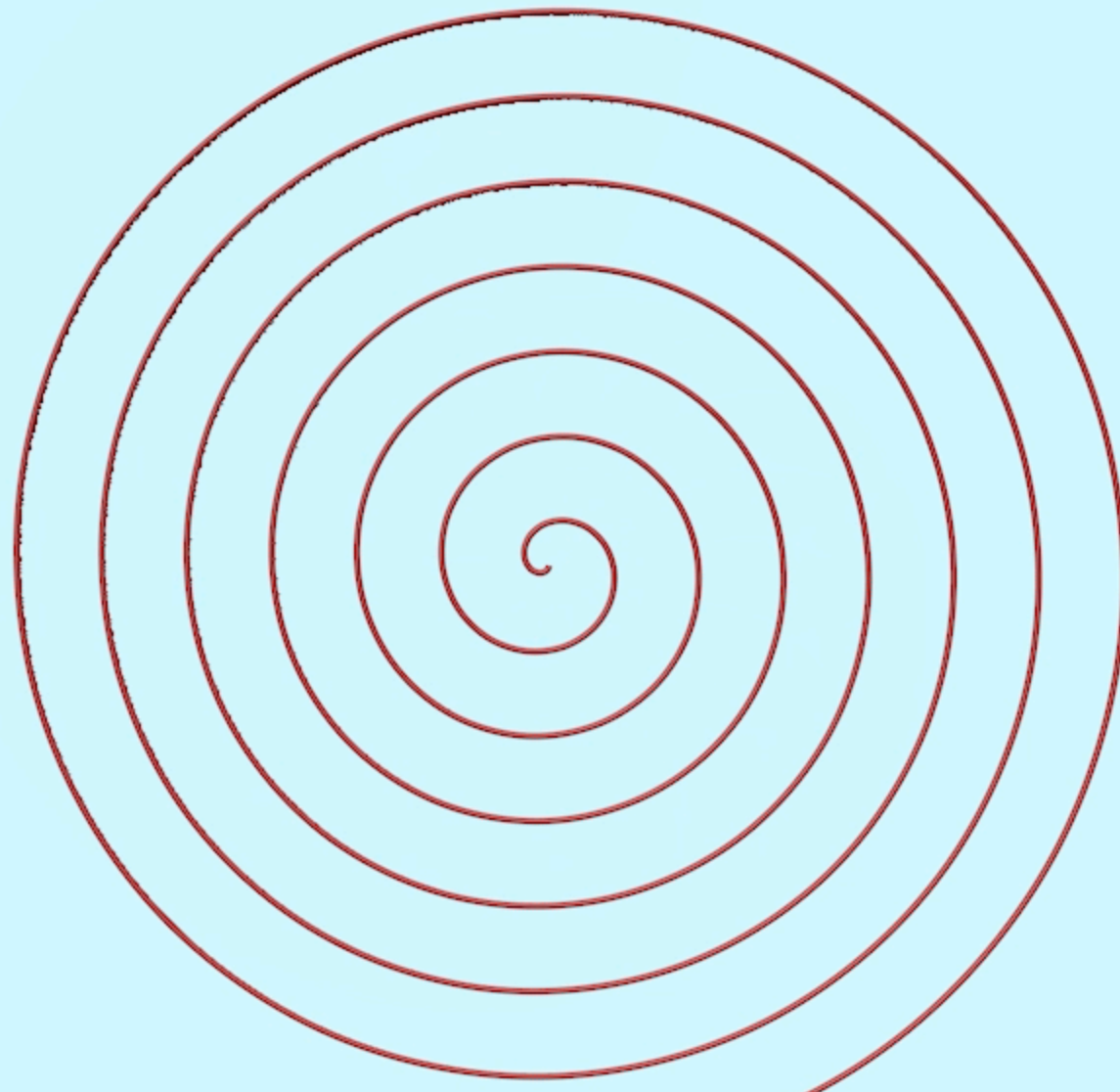








Le meravigliose
forme delle conchiglie
(e degli animali in
generale) derivano dalla
ripetuta composizione
di un limitato numero
di operazioni



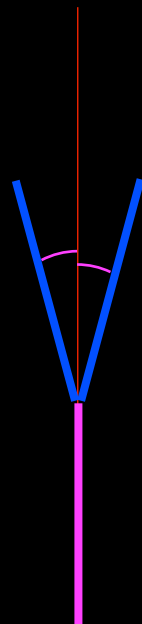
Un notevole esempio di frattale biologico, i broccoli romani

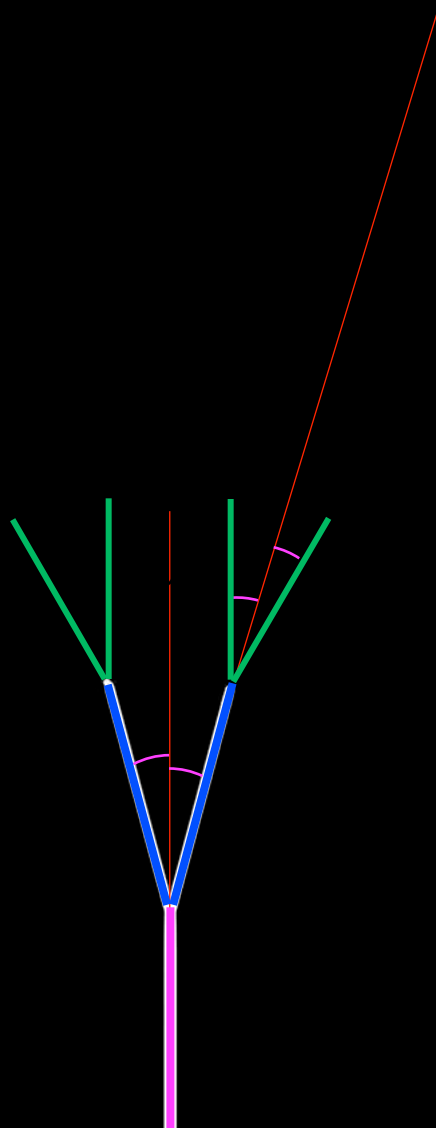


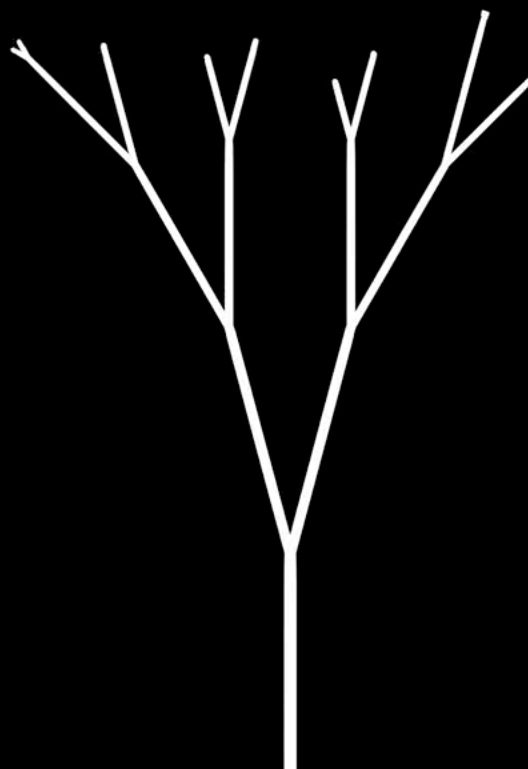


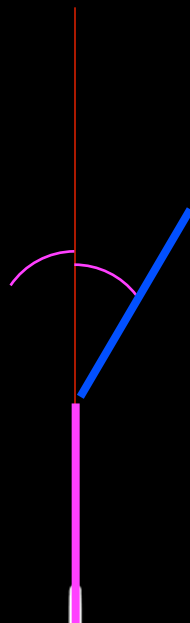


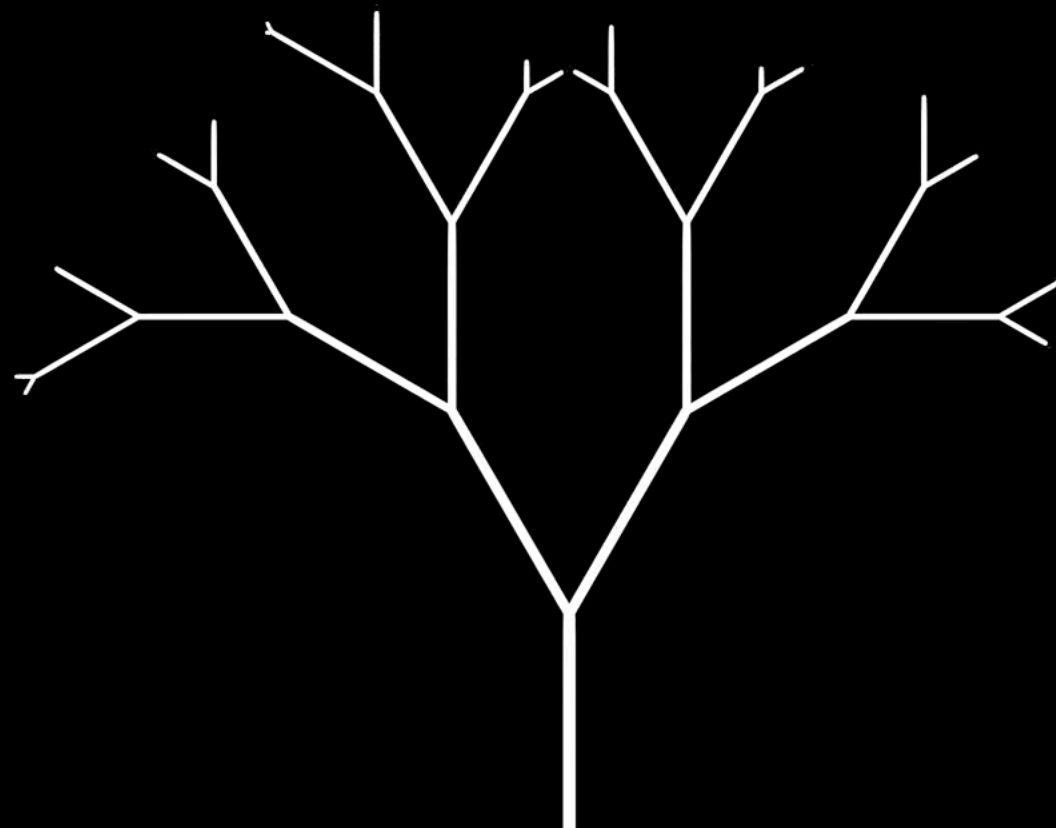
Frattale: una struttura ottenuta applicando una regola in modo iterativo

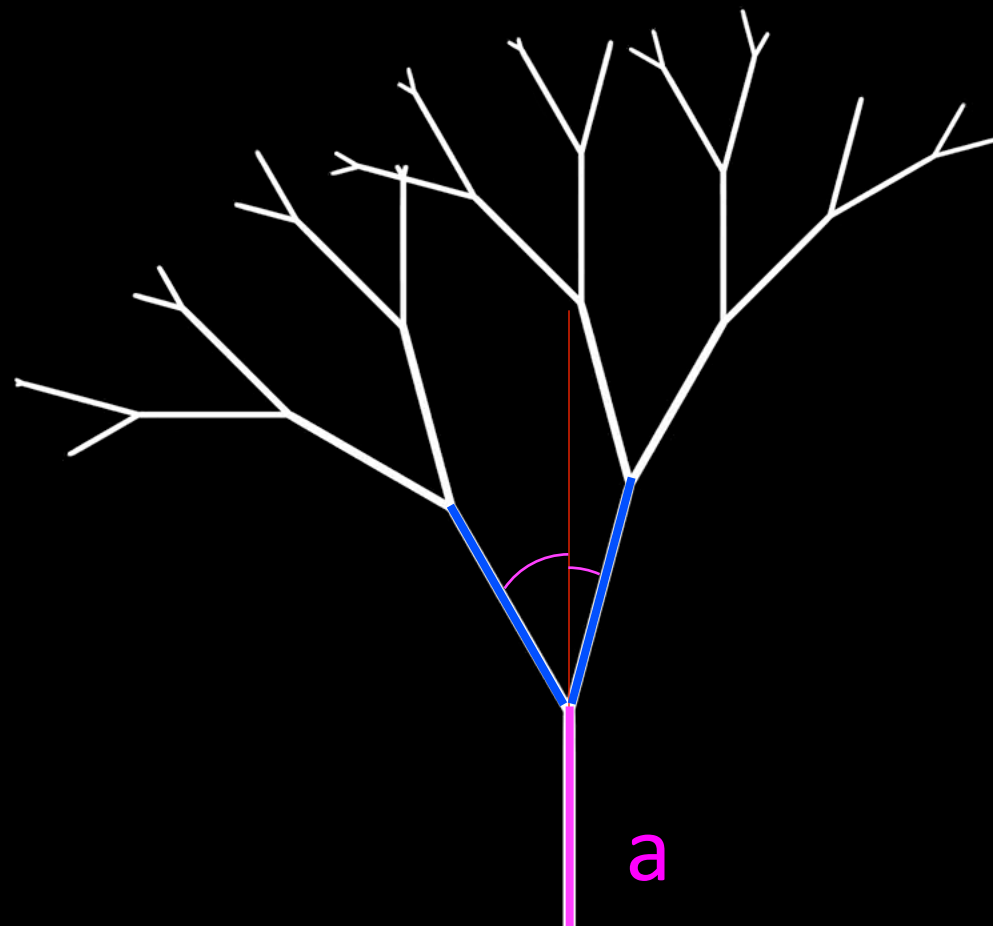


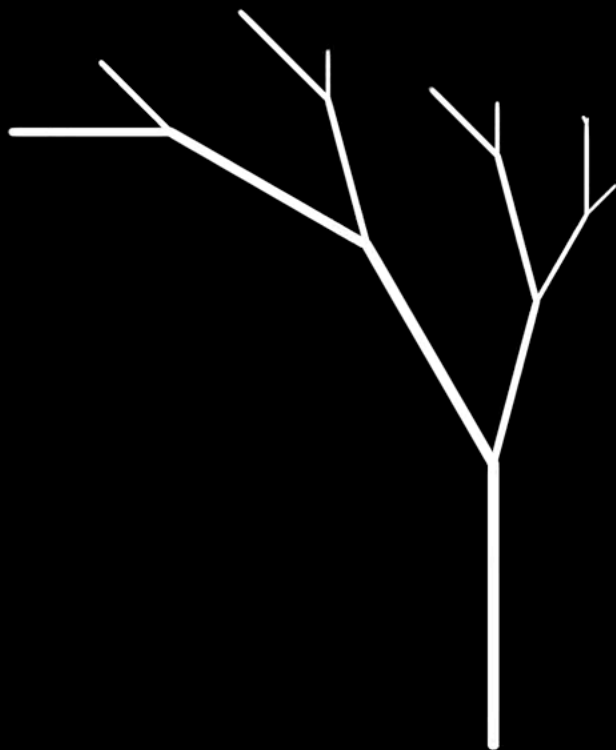


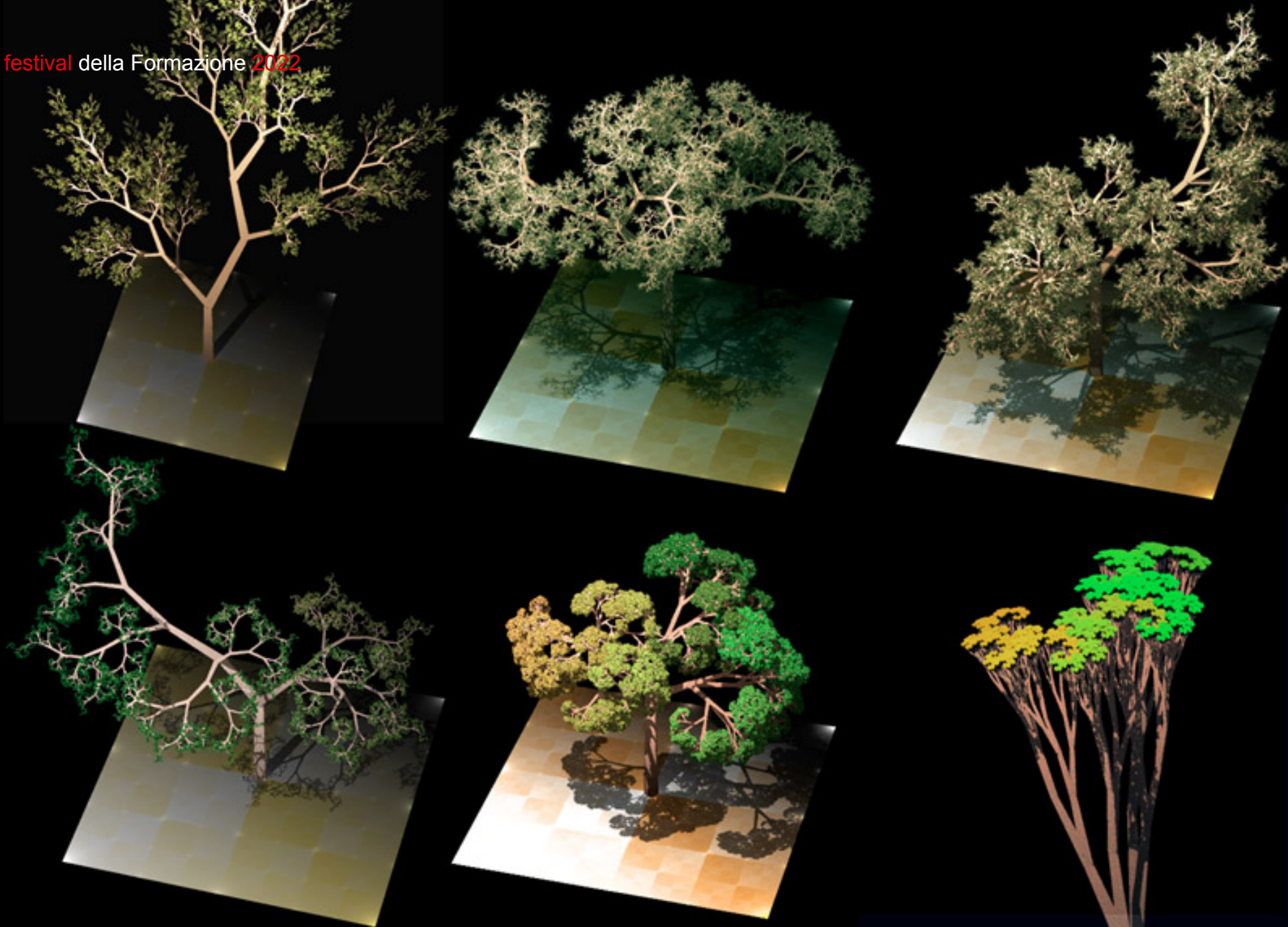




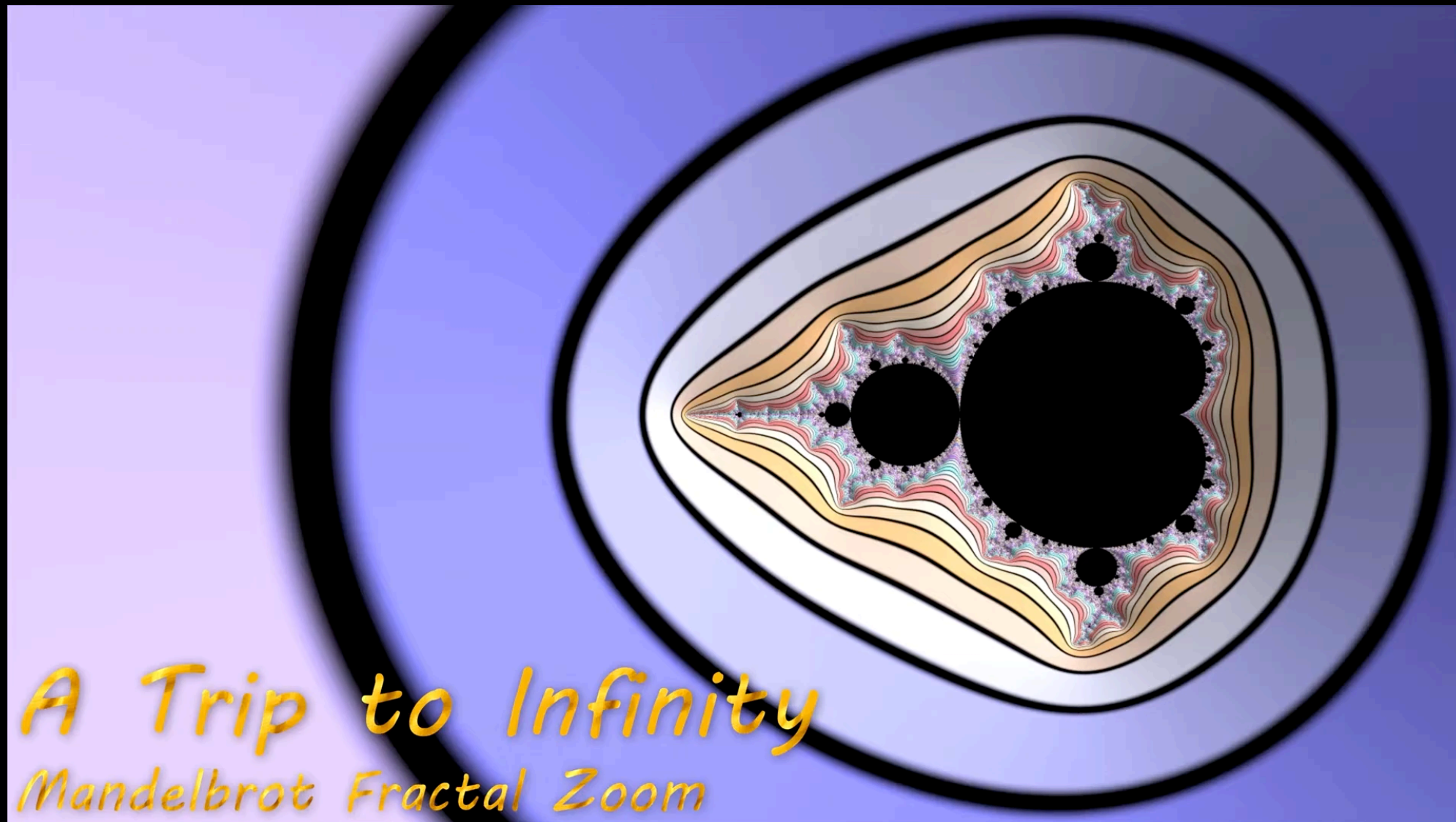








Il set di Mandelbrot, il frattale più famoso





La Teoria del Caos e l'effetto farfalla



Grazie

