

Il programma di Fisica di FCC-ee Incontri di Fisica delle Alte Energia Napoli - 8 - 10 Aprile 2019





in rappresentanza di RDFA (Ricerca e (D)Sviluppo per i Futuri Acceleratori)

B. Di Micco - Università degli Studi di Roma Tre e I.N.F.N.

Il modello standard dopo la scoperta del² **bosone di Higgs e delle onde gravitazionali**





non ancora osservato

non osservato in: e, µ, c, u, d, s (accoppiamento alla materia ordinaria ancora da dimostrare!!)

fatti sperimentali non spiegati

- inflatone (campo responsabile dell'inflazione)
- materia oscura

campi delle restanti forze

• asimmetria materia-antimateria

aspetti teorici non soddisfacenti

- non rinormalizzabilità della gravità perturbativa
- ma: piena rinormalizzabilità non perturbativa per m_h ~ 126 GeV λ (μ=M_{pl}) ~ 0 [predetta nel 2010]

L'importanza del potenziale di Higgs





- λ ad alte scale, influisce sul potenziale effettivo del bosone di Higgs. Instabilità quando il minimo assoluto non coincide con il minimo EWK ~ 246 GeV;
- condizioni simili per:
 - rinormalizzazione non perturbativa della gravità a qualunque scala (asymptotic safety) [arXiv: 0912.0208]
 - possibilità che il bosone di Higgs possa comportarsi come inflatone [arXiv:0710.3755]



contributo al running di λ



Il Programma di Fisica di FCC-ee



Il programma di Fisica di Fcc-ee

- 1. misure di elevatissima precisione (< 1%) dei decadimenti del bosone di Higgs: in caso di discrepanze rispetto ai valori attesi, possibile scoperta di effetti BSM sugli accoppiamenti;
- 2. misura della larghezza Γ_H: verifica di compatibilità con lo standard model, possibile scoperta di decadimenti in particelle non visibili (dark-matter);
- 3. misura del termine di autoaccoppiamento λ , verifica indiretta del termine di potenziale;
- 4. primo probing dell'accoppiamento alla materia (elettroni);
- misura di precisione della massa del top ⇒ impatto su stabilità, inflazione, asymptotic safety della gravità quantistica;
- 6. misura di precisione (estrema) della massa del W e della Z: test di consistenza del modello standard;
- fisica di precisione alla Z e alla soglia WW, ricerca di deviazioni dal Modello Standard (MS), misura degli accoppiamenti di gauge tripli e quadrupli: probing di nuova fisica fino a scale di 50 TeV;
- 8. ricerca di effetti BSM nei decadimenti del top: correnti neutre che cambiano sapore e così via.

Il materiale presente in queste slides si trova in:

"FCC Study: Physics Opportunities" - CERN-ACC-2018-0056 "FCC Study: The Lepton Collider (FCC-ee)" - CERN-ACC-2018-0057

Schema della macchina e luminosità



ZH tt WW Luminosity [10³⁴ cm⁻²s⁻¹] Z (91.2 GeV) : 4.6 × 10³⁶ cm⁻²s⁻¹ LEP x 105! FCC-ee (Baseline, 2 IPs)(*) LEP3 (Baseline, 4 IPs) FCC-ee ILC (Baseline) 10² CLIC (Baseline) LEP3 W^+W^- (161 GeV): 5.6 × 10³⁵ cm⁻²s⁻¹ CEPC (Baseline, 2 IPs) HZ (240 GeV) : $1.7\times10^{35}\,cm^{-2}s^{-1}$ CEPC 10 tť (350 GeV) : 3.8×10^{34} cm⁻²s⁻¹ (365 GeV) : 3.1×10^{34} cm⁻²s⁻¹ CLIC HZ (250 GeV) : 1.5 × 10³⁴ cm⁻²s⁻¹ ■ 1 ILC 10^{2} 10^{3} √s [GeV]

proprietà del collisore

ee he

- doppio anello, booster per accelerare gli elettroni, iniezione continua, angolo di incrocio non nullo (30 mrad), tecnica crab-waist, molto diversa da LEP e simile a DAFNE
- schema a 2 punti di interazione, ma DG CERN ha richiesto studi con 4 IP per ottimizzare la durata della presa dati

schema di funzionamento

				\sim		\frown		\frown	
Working point	Z, years 1-2	Z, later	ww	HZ HZ		tt threshold		and above	
√s (GeV)	88, 9	1, 94	157, 163	240		340 - 350		<mark>365</mark>	
Lumi/IP (10 ³⁴ cm ⁻² s ⁻¹)	100	200	25	7		o.8		1.4	
Lumi/year (2 IP)	24 ab-1	48 ab-1	6 ab-1	1.7 ab-1		0.2 ab-1		0.34 ab-1	
Physics goal	150 ab-1		10 ab-1	5 ab-1	/ '	0.2 ab-1		1.5 ab -1	
Run time (year)	2	2	2	3		1		4	

Misura della massa e della larghezza dello Z

10¹² bosoni Z aspettati

- la massa e la larghezza sono misurate tramite la sezione d'urto adronica in funzione di E_{cm}
- la statistica non è un problema, l'incertezza principale deriva dalla calibrazione dell'energia dei fasci Δ E_{cM} ≈ 10 KeV (stat) + 100 KeV (syst)



 $\sigma_{had} \left[nb \right]$

40

Æ

ALEPH

DELPHI

OPAL

L3

م^{had} [nb] 30

20

ALEPH DELPHI

L3

Misura delle asimmetrie fermioniche



B. Di Micco

Il Programma di Fisica di FCC-ee



Misura della massa del W



Misura degli accoppiamenti assoluti dell'Higgs



B. Di Micco

Il Programma di Fisica di FCC-ee

9





- assumendo tutti gli altri coupling al MS, $\Delta \kappa_{\lambda}/\kappa_{\lambda} \sim 9\%$
- da un fit EFT complessivo $\Delta \kappa_{\lambda}/\kappa_{\lambda} \sim 25\%$



Il Programma di Fisica di FCC-ee

IOP PRODUCTION @FUU CULLIDERS

Misura della massa del quark top





s at FCC

- Christian Schwanenberger -

FCC Week 2018



Sommario delle misure elettrodeboli

Observable	Measurement	Current precision	FCC-ee stat.	Possible syst.	Challenge	
m _z (MeV)	Lineshape	91187.5 ± 2.1	0.005	< 0.1	QED corr.	
Г <mark>z (MeV)</mark>	Lineshape	2495.2 ± 2.3	0.008	< 0.1 *	QED / EW	
R _I	Peak	20.767 ± 0.025	0.001	< 0.001	Statistics	
R _b	Peak	0.21629 ± 0.00066	0.00003	< 0.00006	$g \rightarrow bb$	
$N_{ m v}$	Peak	2.984 ± 0.008	0.00004	< 0.004	Lumi meast	
$sin^2 \theta_w^{eff}$	A _{FB} ^{μμ} (peak)	0.23148 ± 0.00016	0.000003	<0.000005*	Beam energy	
$1/lpha_{ t QED}(extbf{m_z})$	A _{FB} ^{μμ} (off-peak)	128.952 ± 0.014	0.004	< 0.004	QED / EW	
$lpha_{ m s}({ m m_z})$	R _I	0.1196 ± 0.0030	0.00001	<0.0002	New Physics	
m _w (MeV)	Threshold scan	80385 ± 15	0.6	< 0.6	EW Corr.	
$\Gamma_{\sf W}$ (MeV)	Threshold scan	2085 ± 42	1.5	<1.5	EW Corr.	
$N_{ m v}$	$e^+e^- \rightarrow \gamma Z, Z \rightarrow \nu \nu, II$	2.92 ± 0.05	0.001 < 0.001		?	
$lpha_{s}(m_{w})$	$B_{had} = (\Gamma_{had} / \Gamma_{tot})_W$	B _{had} = 67.41 ± 0.27	0.00018 < 0.0001		CKM Matrix	
m _{top} (MeV)	Threshold scan	173340 ± 760 ± 500	20 <40		QCD corr.	
Γ_{top} (MeV)	Threshold scan	?	40	<40	QCD corr.	
λ_{top}	Threshold scan	μ = 1.2 ± 0.3	0.08	< 0.05	QCD corr.	
ttZ couplings	√s = 365 GeV	~30%	~2%	<2%	QCD corr	

B. Di Micco

Il Programma di Fisica di FCC-ee



Misure degli accoppiamenti dell'Higgs

Collider	HL-LHC	ILC_{250}	CLIC ₃₈₀	$LEP3_{240}$	$CEPC_{250}$		0+365	
Lumi (ab ⁻¹)	3	2	1	3	5	5_{240}	$+1.5_{365}$	+ HL-LHC
Years	25	15	8	6	7	3	+4	
$\delta \Gamma_{\rm H} / \Gamma_{\rm H}$ (%)	SM	3.6	4.7	3.6	2.8	2.7	1.3	1.1
$\delta g_{ m HZZ}/g_{ m HZZ}$ (%)	1.5	0.3	0.60	0.32	0.25	0.2	0.17	0.16
$\delta g_{ m HWW}/g_{ m HWW}$ (%)	1.7	1.7	1.0	1.7	1.4	1.3	0.43	0.40
$\delta g_{ m Hbb}/g_{ m Hbb}$ (%)	3.7	1.7	2.1	1.8	1.3	1.3	0.61	0.56
$\delta g_{ m Hcc}/g_{ m Hcc}$ (%)	SM	2.3	4.4	2.3	2.2	1.7	1.21	1.18
$\delta g_{ m Hgg}/g_{ m Hgg}$ (%)	2.5	2.2	2.6	2.1	1.5	1.6	1.01	0.90
$\delta g_{\mathrm{HTT}}/g_{\mathrm{HTT}}$ (%)	1.9	1.9	3.1	1.9	1.5	1.4	0.74	0.67
$\delta g_{\mathrm{H}}\mu\mu/g_{\mathrm{H}}\mu\mu$ (%)	4.3	14.1	n.a.	12	8.7	10.1	9.0	3.8
$\delta g_{\rm H} \gamma \gamma / g_{\rm H} \gamma \gamma$ (%)	1.8	6.4	n.a.	6.1	3.7	4.8	3.9	1.3
$\delta g_{ m Htt}/g_{ m Htt}$ (%)	3.4	_	_	_	_	_	_	3.1
BR_{EXO} (%)	SM	< 1.7	< 2.1	< 1.6	< 1.2	< 1.2	< 1.0	< 1.0

Bisogna fare attenzione nel confrontare i numeri, il fit HL-LHC assume che la larghezza totale non cambi (ipotesi altamente irrealistica) al cambiare degli altri accoppiamenti, rilasciando questa ipotesi si perde completamente la sensibilità ad Hgg ad esempio. Va vista come possibile contributo di HL-LHC alle misure dei collisori a leptoni (ad esempio $\mu\mu$ e $\gamma\gamma$)

Encire PSM (tutte le misure)



15



Le scoperte dell'ultimo secolo ci hanno regalato una descrizione completa e predittiva della natura

- ci sono aspetti che ancora non capiamo:

Dark Matter

- o che hanno varie soluzioni, complesse e sperimentalmente non dimostrate

inflazione, quantum gravity, asimmetria materia-antimateria

- molte di queste sono correlate con la comprensione del bosone di Higgs ed il suo potenziale
- il prossimo passo avanti nella conoscenza della fisica fondamentale è lo studio di precisione del bosone di Higgs ad un collisore leptonic (come già fatto con la Z), arricchito ed enormemente potenziato dalle misure su W, Z e top.



Fisica OSM

- Particelle simili ad assioni (Axion Like ParticleS) appaiono in varie estensioni del modello standard
- > se non si accoppia a gluoni FCC-ee potrebbe ottenere $f_a < 100$ TeV





crab-waist crossing for flat beams



• avoids betatron resonances (→higher beam-beam tune shift)



DA Φ NE: "crab waist" collisions, est. 2008/09

$DA\Phi NE$ Peak Luminosity



M. Zobov et al., *Test of "Crab-Waist" Collisions at the DAΦNE Φ Factory,* **Phys. Rev. Lett. 104**, 174801 (2010)

M. Zobov



W mass and width from WW cross section





Unique at FCC-ee : First generation couplings

If schedule allows or calls for a prolongation of FCC-ee

- Few years at $\sqrt{s} = 125.09$ GeV with high luminosity is an interesting addition
 - For s-channel production e⁺e⁻ → H (a la muon collider, with 10⁴ higher lumi)



- Expected signal significance of ~0.4 σ / \sqrt{y} ear in both option 1 and option 2
 - Set a electron Yukawa coupling upper limit : $\kappa_e < 2.5 @ 95\%$ C.L.
 - Constrain CP violating Higgs-top couplings from EDM measurements
 - Reaches SM sensitivity after five years
- FCC-ee unique opportunity to constrain first generation Yukawa's

```
Patrick Janot
```

Physics at FCC : CDR Symposium 6 March 2019

31

B. Di Micco



FCC-ee

ELECTROWEAK COUPLINGS OF THE TOP QUARK @FCC-ee



ttZ, tty couplings can be directly probed in the tt production process at FCC-ee

 \blacktriangleright Large statistics and final state polarization allow a full separation of the ttZ/ γ couplings with NO need for (long.) polarization in the initial state.

►Optimal √s= 365 GeV

FCC-ee expected precision of order 10⁻² to 10⁻³

⊱__m0.04

0.03

0.01

-0.01-0.02F

-0.03F

-0.04

FCC-ee (SM)

Benchmark A





some CHDM FCC-ee precision sensitivity up to 4TeV Z' mass



-0.05 -0.04 -0.03 -0.02 -0.01 0 0.01 0.02 0.03 0.04 0.05

 $\delta g^{\gamma} / g^{\gamma}_{L}$



► Axion Like Particles (ALPS) appear in several extensions of the SM $\mathbb{BR}[Z \to \gamma a(\gamma \gamma)] \lesssim 3 \times 10^{-9} \lesssim 5 \times 10^{-6}$

➤ if no coupling with gluons FCC-ee could reach

 $f_a \lesssim 100 \text{ TeV}$

For Tera Z BR[$Z \rightarrow \gamma a(\gamma \gamma)$] $\lesssim 3 \times 10^{-9}$ [current LEP limit $\lesssim 5 \times 10^{-6}$]







B. Di Micco

Il Programma di Fisica di FCC-ee



T TRECCANI	ISTITUTO	MAGAZINE	CATALOGO	SCUOLA	ART	е т	RECCAN
loop							
Vocabolario on line							
Crea un ebook con questa voce Scarica	Con	dividi 🎐	f	G٠	in		

loop <lùup> s. ingl. (propr. «cappio»; pl. *loops <lùups>*), usato in ital. al masch. – Nel linguaggio scient. e tecn., termine con cui si designano oggetti, strutture, programmi schematizzabili come linee chiuse o anelli; in elettrotecnica, *l. di corrente*, lo stesso che *circuito dhiuso*. In informatica, successione di operazioni che vengono eseguite ripetutamente dal calcolatore nello stesso ordine, ogni volta con modifiche degli operandi, finché non sia soddisfatta qualche condizione prefissata.