





PINGU e la gerarchia di massa: aspetti statistici e sistematici

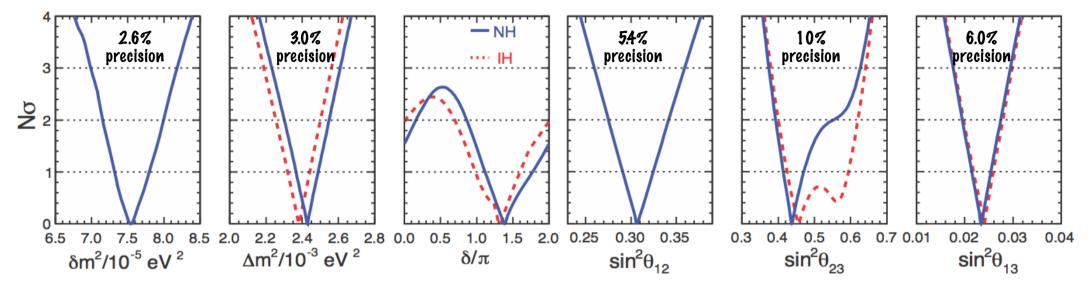
FRANCESCO CAPOZZI

Dottorando

Università degli Studi di Bari - INFN

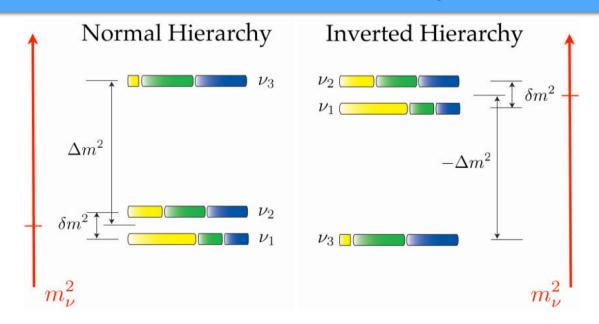
arXiv:1503.01999 (PRD) in collaborazione con E. Lisi e A. Marrone

La nostra conoscenza attuale

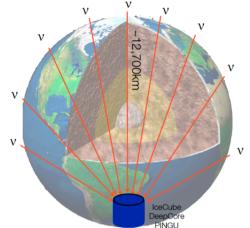


Non conosciamo ancora: masse assolute, δ (CPV), ottante di θ_{23} e...

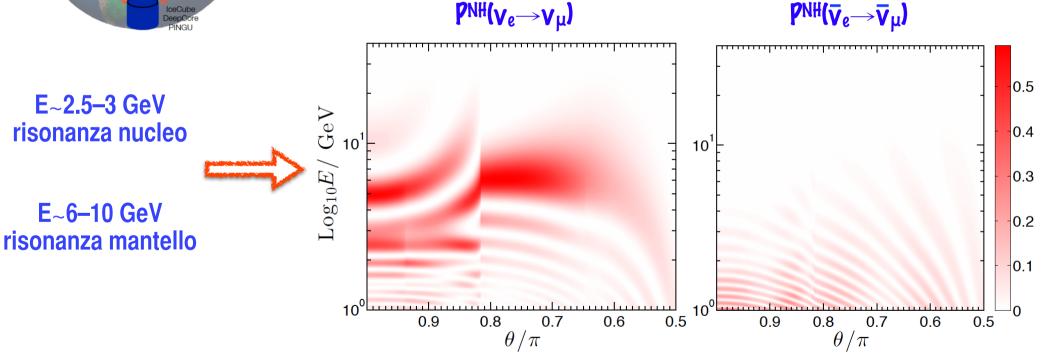
GERARCHIA DI MASSA: ordinamento di m₃ rispetto a $m_{1,2}$ = sign(Δm^2)



Misura della gerarchia di massa con neutrini atmosferici (PINGU)



Le probabilità di oscillazione per i neutrini prodotti in atmosfera sono soggette ad effetti di materia, come la risonanza di θ_{13} (NH per ν e IH per $\overline{\nu}$). $\theta_{13} \rightarrow \theta_{13}$ (materia) $\gg \theta_{13}$ (vuoto) alla risonanza.



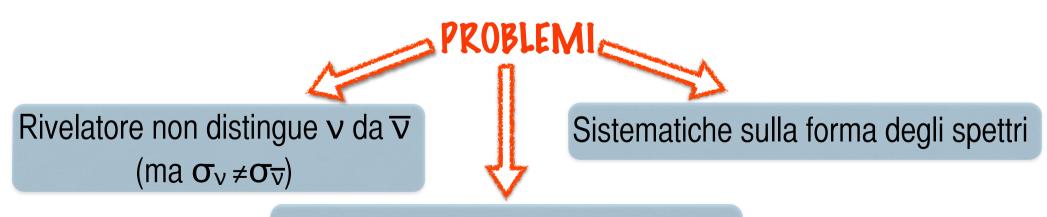
Se gerarchia inversa, equivale all'incirca a scambiare $v \longleftrightarrow \overline{v}$. Il calcolo teorico è sotto controllo, ma gli esperimenti non misurano $P(v_{\alpha} \to v_{\beta})$ direttamente...

Misura della gerarchia di massa con neutrini atmosferici (PINGU)

...PINGU misura lo spettro di v_{α} (α =e, μ) in E e θ , costituito da tre termini:

Indip. da oscillazioni

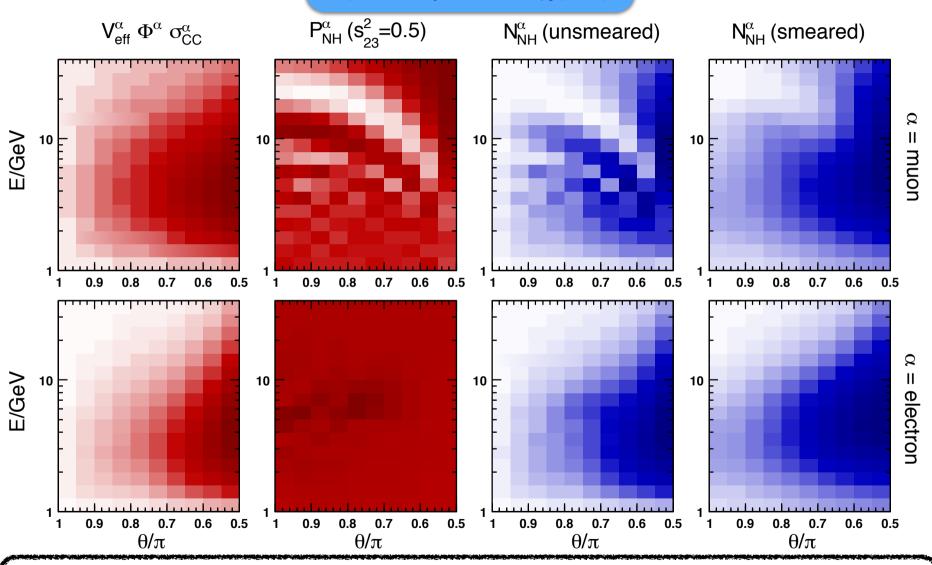
$$N_{ij}^{\alpha}(E_{\nu},\theta) = V_{\mathrm{eff}}^{\alpha}(E_{\nu}) \otimes \sigma(E_{\nu}) \otimes \Phi^{\alpha}(E_{\nu},\theta) \otimes P^{\alpha}(E_{\nu},\theta) \otimes R^{\alpha}(E_{\nu},\theta)$$
 volume sez. d'urto flusso probabilità funzione risol.



Risoluzione non perfetta in E, θ

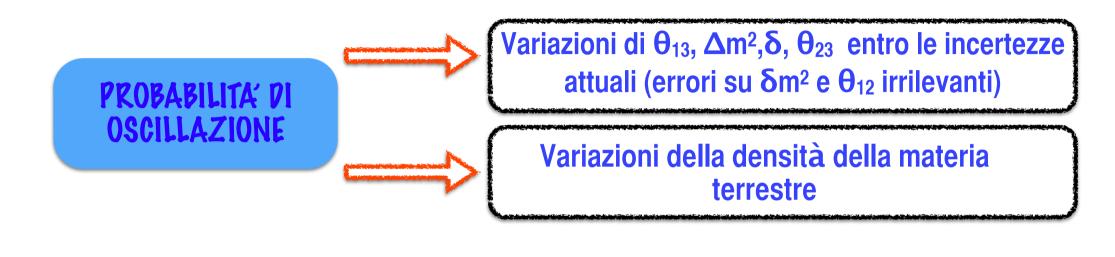
Forma dello spettro

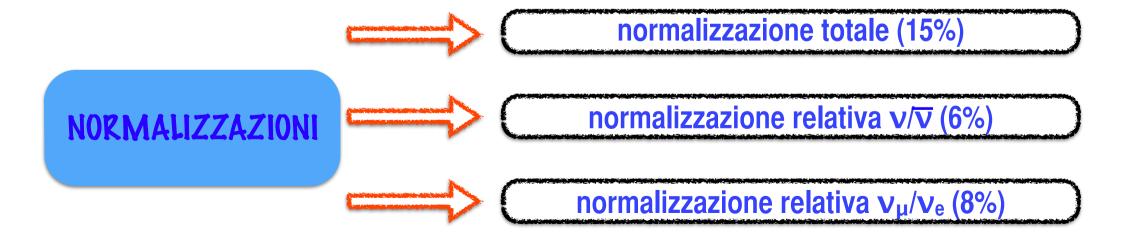
GERARCHIA NORMALE



Le differenze dovute alla gerarchia sono O(few %). Impossibile distinguere "ad occhio" NH da IH.

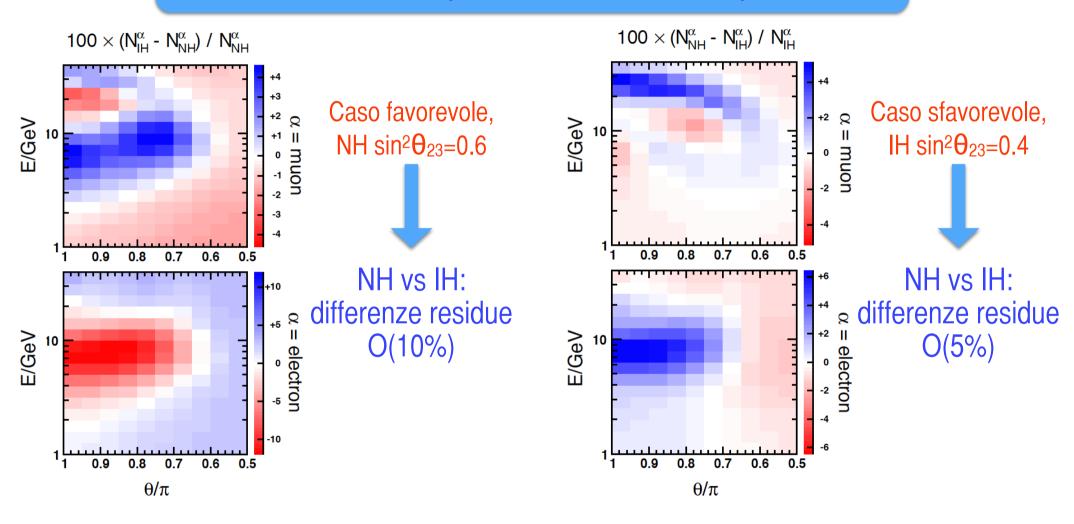
Errori sistematici - i più ovvi: probabilita' di oscillazione e normalizzazioni





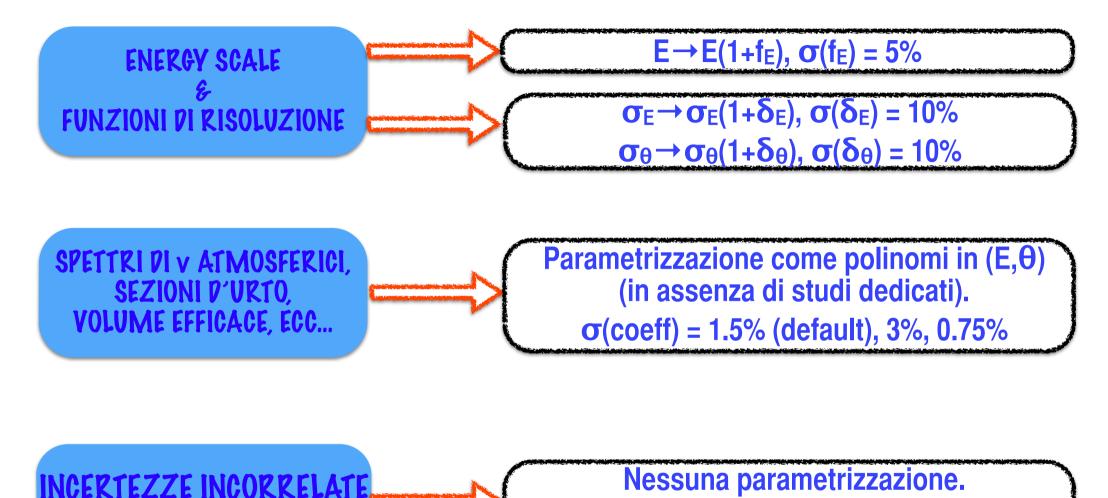
Differenze percentuali degli spettri

Marginalizzando rispetto alle sistematiche precedenti:



Siamo sicuri di conoscere gli spettri a livello di qualche percento?

Altre sorgenti di incertezze spettrali



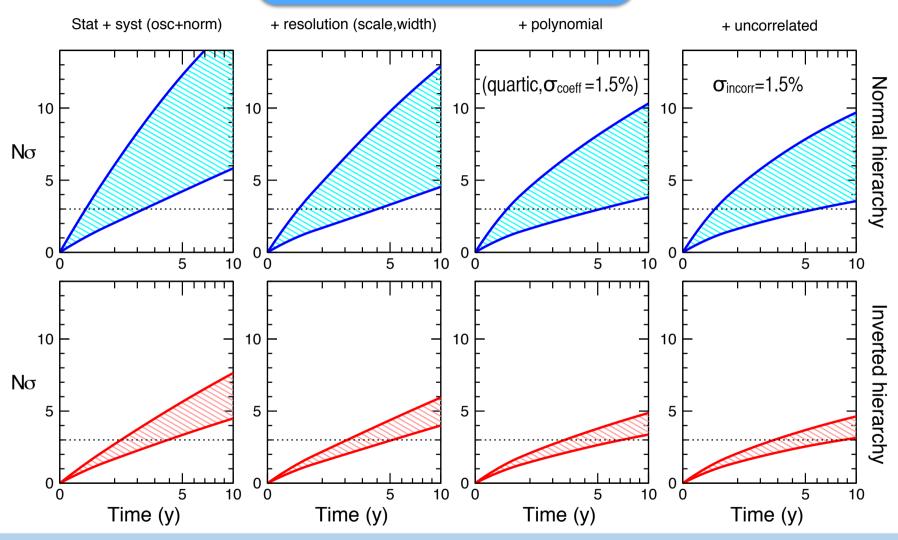
L'analisi statistica, con questo insieme di sistematiche, è stata eseguita con il PULL METHOD (arXiv:hep-ph/0206162)

IN OGNI BIN

 $\sigma_{incorr} = 1.5\%$ (default), 3%, 0.75%

Risultati: sensibilità alla gerarchia

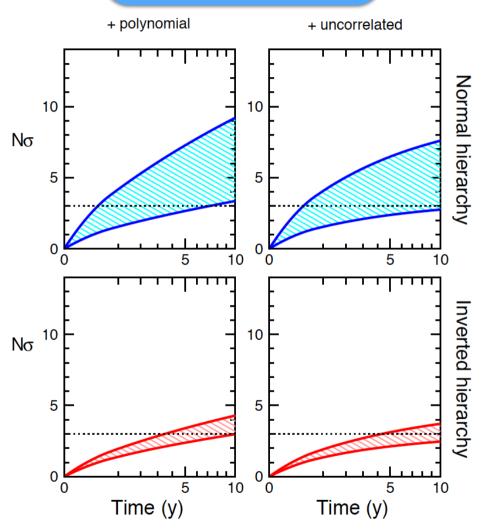
Bande \longleftrightarrow sin² $\theta_{23} \in [0.4, 0.6]$



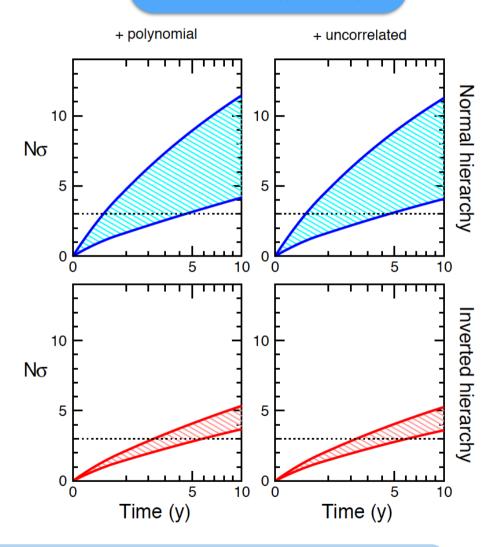
L'effetto di tutte le sistematiche (pannello destro) è quello di **ridurre la sensibilità dopo 5 (10)** anni del ~35% (~40%) rispetto al caso in cui si considerano solo le imprecisioni sui parametri di oscillazioni e gli errori di normalizzazione sui flussi (pannello sinistro).

Risultati: sensibilità alla gerarchia



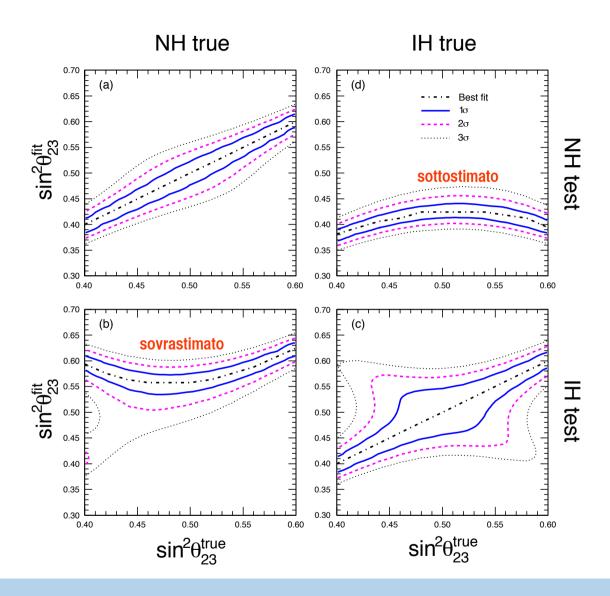


Errori dimezzati



Le incertezze sulla forma spettrale necessitano uno studio accurato, poiché possono ridurre la sensitività dal 20% al 50%, se confrontata con quella derivante da sistematiche standard

Risultati: determinazione di 023



Se si sbaglia la gerarchia θ_{23} può essere sottostimato (pannello d) o sovrastimato (pannelo b), a seconda dei casi (δ quasi irrilevante, effetti < 1σ).

Conclusioni

PINGU è sensibile a deviazioni spettrali O(few %). Parametrizzando opportunamente le sistematiche spettrali si ottiene una riduzione della sensibilita' dal 20% al 50%, se confrontata con quella derivante dai soli parametri di oscillazione e normalizzazioni

Necessario un accurato calcolo teorico degli spettri (flussi atmosferici, sezioni d'urto, risoluzioni, ecc.), decomponendo le varie sistematiche. Cio' permetterebbe una stima affidabile delle deviazioni spettrali (utile anche per altri esperimenti da neutrini atmosferici ad alta statistica, come ORCA, INO, HyperK).

Nel limite di alta statistica occorre tener conto di possibili incertezze residue correlate ed incorrelate, che potrebbero non avere una parametrizzazione ben definita (problema nuovo per la fisica dei neutrini, ma gia' emerso in altri campi con misure di precisione)

BACKUP

Errori sistematici: introduzione

- **VOLUME EFFICACE**: incertezze O(%), dipendenti da angolo ed energia, dovute a statistica finite del MC, inomogeneità del ghiaccio, ecc...
- **FLUSSI**: Normalizzazione totale O(10%), rapporto ν_{μ}/ν_{e} e $\nu/\overline{\nu}$ O(%). La forma nota con una precisione non migliore di qualche %.
- SEZIONE D'URTO: Incertezze O(%), in particolare dove DIS non dominante (E~GeV).
- RISOLUZIONE IN Ε e θ: non perfetta conoscenza della sezione d'urto e della risposta del rivelatore, in assenza di calibrazione
- PROBABILITA' DI OSCILLAZIONE: affette dalla non perfetta conoscenza dei parametri di oscillazione e dall'incertezza sulla densità elettronica del nucleo terrestre.
- **ERRORI NUMERICI**: Errori, principalmente incorrelati, dovuti all'approssimazione del calcolo numerico (media sull'angolo azimutale, funzioni di risoluzioni gaussiane, statistica finita del MC, ecc...)

Analisi statistica

 θ_{23} e δ sono parametri liberi. Per ogni punto dello spazio (θ_{23} , δ), assumendo che l'effetto delle sistematiche sia lineare su N_{ij} , il χ^2 può essere calcolato mediante la seguente equazione:

METODO DEI PULL

$$\Delta \chi^{2}(\theta_{23}, \delta) = \min_{\xi_{k}} \left[\sum_{ij} \sum_{\alpha=e,\mu} \frac{(N_{ij}^{\alpha,TH} - N_{ij}^{\alpha,WH} - \sum_{k} \xi_{k} c_{i}^{k})^{2}}{N_{ij}^{\alpha,TH} + (f_{I} N_{ij}^{\alpha,TH})^{2}} \right]$$

 N_{ij} = numero di eventi nel bin ij-esimo

TH,WH = gerarchia vera, gerarchia sbagliata

 ξ_k = distanza, in unità di σ , del k-esimo errore sistematico dal valore centrale

 c^{k_i} = variazione di $N^{WH_{ij}}$ dovuta alla k-esima sistematica, per ξ_k =1

 $f_i N_{ij}^{TH}$ = errore incorrelato per il bin ij-esimo

Sensitività alla gerarchia: Nσ=√Δχ²