

Teorie Efficaci Olografiche: Un caso di studio

Riccardo Antonelli

30 novembre 2016

QFT fortemente accoppiate

Problema fondamentale:

**Data teoria di campo quantistica fortemente accoppiata,
→ teoria efficace di bassa energia**

Teoria delle stringhe: equivalenze teorie di gauge 4D \leftrightarrow background di stringa 10D (olografia)

Sfruttabili per teoria efficace?



teorie efficaci olografiche

Superstringhe IIB

Teoria di gravità quantistica in 10D.

- ▶ Stringhe: oggetti perturbativi 1-dimensionali
- ▶ Dp -brane: oggetti non perturbativi p -dimensionali; p dispari (D1, D3, D5, ...)

A basse energie, le stringhe IIB \sim **supergravità IIB** (SUGRA).

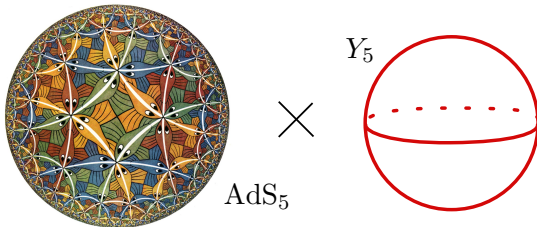
Teoria di campo, include:

- ▶ gravitone $g_{\mu\nu}$, assio-dilatone τ (complesso)
- ▶ k -forme: B_2 , C_2 , C_4
- ▶ + fermioni ...

Olografia

Equivalenza fra

- ▶ Teoria di gauge in 4 dimensioni
- ▶ Teoria delle stringhe IIB (include gravità) su $\text{AdS}_5 \times Y^5$



AdS (Anti-de Sitter):
spaziotempo iperbolico

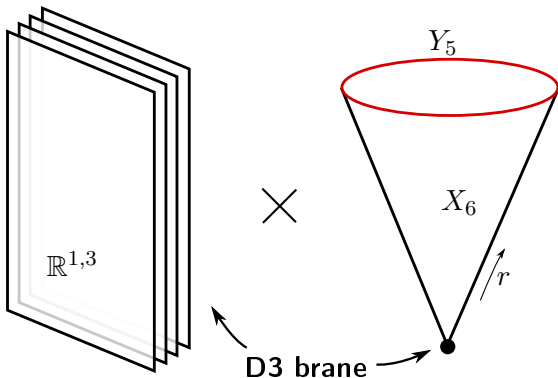
Y_5 : varietà compatta 5D

Costruire dualità

Si dispongono N D3-brane coincidenti in un background

$$\mathbb{R}^{1,3} \times X_6$$

X_6 : cono con base Y_5 : $ds_X^2 = dr^2 + r^2 ds_Y^2$



Costruire dualità (2)

Due visuali equivalenti di questo sistema:

1. Stringhe aperte attaccate alle D3 (teoria di gauge in 4D)
2. La massa delle D3 curva lo spaziotempo come

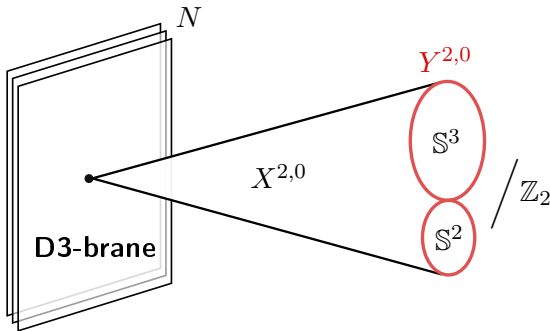
$$\mathbb{R}^{1,3} \times X_6 \longrightarrow \text{AdS}_5 \times Y_5,$$

\Rightarrow stringhe chiuse su questa geometria warped (teoria 10D)

$$1. = 2. \quad \Longrightarrow \quad \text{dualità olografica}$$

La teoria $Y^{2,0}$

Cono $X^{2,0}$ sulla base $Y^{2,0} \sim \mathbb{S}^2 \times \mathbb{S}^3 / \mathbb{Z}_2$



$X^{2,0}$ è Calabi-Yau \implies teoria superconforme (SCFT) con $\mathcal{N} = 1$

Supersimmetria **minimale** (senza la singolarità conica, $\mathcal{N} = 4$):
teorie meno rigide e più realistiche, dinamica pochissimo studiata

La teoria $Y^{2,0}$

Gruppo di gauge:

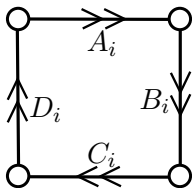
$$U(N)_1 \times U(N)_2 \times U(N)_3 \times U(N)_4$$

Campi di materia: $A_1, A_2, B_1, B_2, C_1, C_2, D_1, D_2$.

$$A_i \in (\mathbf{N}, \overline{\mathbf{N}}, \mathbf{1}, \mathbf{1}),$$

$$B_i \in (\mathbf{1}, \mathbf{N}, \overline{\mathbf{N}}, \mathbf{1}) \dots$$

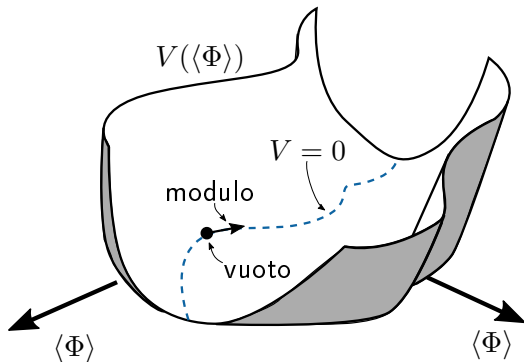
Teoria di quiver:



+ superpotenziale (interazione fra i campi di materia):

$$W = \lambda \epsilon^{ij} \epsilon^{kl} \text{Tr}(A_i B_k C_j D_l)$$

Deve esistere una descrizione **efficace** a bassa energia, in termini di pochi campi dinamici. Come identificarla?



Varietà di vuoti (minimi del potenziale): **spazio dei moduli** \mathcal{M} . Le direzioni lungo \mathcal{M} sono parametrizzate da **moduli**.

Moduli = campi della teoria efficace!

$$\text{AdS}_5 \times Y^{2,0}$$

Duale olografico: stringhe IIB sulla geometria

$$\text{AdS}_5 \times Y^{2,0}$$

Quando $N \rightarrow \infty$ e a strong coupling \rightarrow la string theory diventa la SUGRA IIB classica.

Moduli della CFT $Y^{2,0}$



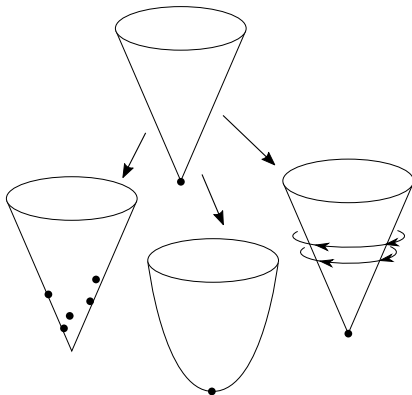
Moduli di SUGRA su $\text{AdS}_5 \times Y^{2,0}$



campi dinamici della teoria efficace

\Rightarrow è possibile estrarre la Lagrangiana efficace.

Moduli SUGRA



- Spostare le D3-brane sul cono
- Deformare la struttura Kähler (metrica) del cono
- Accendere altri campi di SUGRA (τ, B_2, C_2, C_4)

$3N$ moduli immediati:

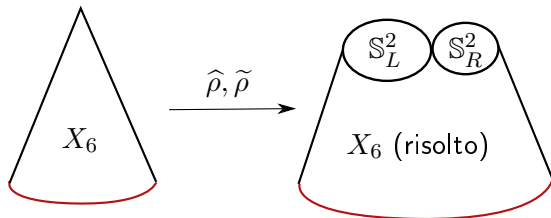
$$z_I^i,$$

con $(i = 1, 2, 3, I = 1, \dots, N)$:

posizioni delle N D3-brane sul cono 6-dimensionale; $3N$ campi complessi.

Sono legati a valori di aspettazione (VEV) di **mesoni** della CFT.

Troviamo due moduli della struttura Kähler (metrica): la singolarità conica si può “risolvere” in due sfere $\mathbb{S}_L^2 \times \mathbb{S}_R^2$



$$\hat{\rho} \sim \text{vol } \mathbb{S}_L^2 + \text{vol } \mathbb{S}_R^2$$

$$\tilde{\rho} \sim \text{vol } \mathbb{S}_L^2 - \text{vol } \mathbb{S}_R^2$$

\Rightarrow Due altri campi chirali $\hat{\rho}, \tilde{\rho}$ nella teoria efficace

Troviamo due deformazioni delle 2-forme B_2, C_2 :

$$\beta \sim \int_{\mathbb{S}_L^2 + \mathbb{S}_R^2} (B_2 - \tau C_2)$$
$$\lambda \sim \int_{\mathbb{S}_L^2 - \mathbb{S}_R^2} (B_2 - \tau C_2)$$

- ▶ β : campo dinamico.
- ▶ λ : parametro costante, genera una deformazione marginale.

$\widehat{\rho}, \widetilde{\rho}, \beta$ sono altri tre campi chirali nella teoria efficace e corrispondono a VEV di **barioni**.

Teoria efficace

Ci sono $3N + 3$ campi chirali $(z_I^i, \hat{\rho}, \tilde{\rho}, \beta)$ e due parametri marginali (τ, λ) . Calcoliamo la \mathcal{L}_{eff} efficace:

$$\mathcal{L}_{\text{eff}} = -\pi \mathcal{G}^{ab} \nabla \rho_a \wedge * \nabla \bar{\rho}_b - 2\pi \sum_I g_{i\bar{j}} dz^i \wedge * d\bar{z}^{\bar{j}} - \frac{\pi \mathcal{M}}{\text{Im } \tau} d\beta \wedge * d\bar{\beta}$$

- ▶ $\mathcal{G}^{ab}, \nabla, g_{i\bar{j}}, \mathcal{M}$ sono funzioni complicate di $(\hat{\rho}, \tilde{\rho}, \beta) \implies$ forte non-linearità
- ▶ $g_{i\bar{j}}$: metrica (hermitiana) del cono risolto: σ -model delle D3-brane
- ▶ \mathcal{L}_{eff} è in realtà la parte bosonica di una Lagrangiana supersimmetrica $\mathcal{N} = 1$: gli scalari $\hat{\rho}, \tilde{\rho}, \beta$ sono accoppiati con superpartner spin-1/2.
- ▶ Abbiamo dunque determinato la teoria efficace olografica esatta (per $N = \infty$!)

Simmetrie

Check nontriviale: simmetrie della teoria di campo devono ricomparire nella teoria efficace.

- ▶ Gruppo superconforme: spontaneamente rotto in generale, verifichiamo l'invarianza di \mathcal{L} sotto un'implementazione nonlineare.
- ▶ La SCFT ha una simmetria di flavour $SU(2) \times SU(2)$. Nella HEFT: è il gruppo di isometria di $\mathbb{S}^2 \times \mathbb{S}^2$.
- ▶ A basse energie il gruppo di gauge si riduce $U(N)^4 \rightarrow SU(N)^4$: cosa succede agli $U(1)$?

$U(1)$

- ▶ $U(1)_{\text{trace}} = U(1)_1 + U(1)_2 + U(1)_3 + U(1)_4$ è disaccoppiato da tutto.
- ▶ $U(1)_B = U(1)_1 + U(1)_3$ non anomalo. **Numero barionico.**
Nella HEFT:

$$\text{Im } \tilde{\rho} \rightarrow \text{Im } \tilde{\rho} + \alpha$$

- ▶ Ne rimangono due. Sono:

$$U(1)_1 - U(1)_3 \quad \leftrightarrow \quad \text{Im } \hat{\rho} \rightarrow \text{Im } \hat{\rho} + \alpha$$

$$U(1)_4 - U(1)_2 \quad \leftrightarrow \quad \text{Im } \beta \rightarrow \text{Im } \beta + \alpha$$

Simmetrie classiche della CFT e della \mathcal{L}_{eff} , ma **anomale**.
Interpretazione olografica: rotte da effetti nonperturbativi
 $\sim \exp(-N) \sim \exp(-1/g_s)$ dovuti a istantoni di teoria delle
stringhe accoppiati ad $\text{Im } \hat{\rho}$, $\text{Im } \beta$.

Grazie per l'attenzione.