

# Teorie Efficaci Olografiche: Un caso di studio

Riccardo Antonelli

1 dicembre 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).

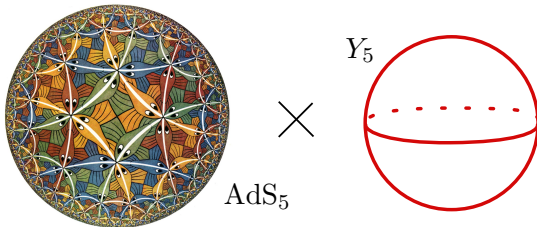
Teoria di campo, include:

- ▶ gravitone  $g_{\mu\nu}$ , assio-dilatone  $\tau$  (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  $\text{AdS}_5 \times Y^5$



$\text{AdS}$  (Anti-de Sitter):  
spaziotempo iperbolico

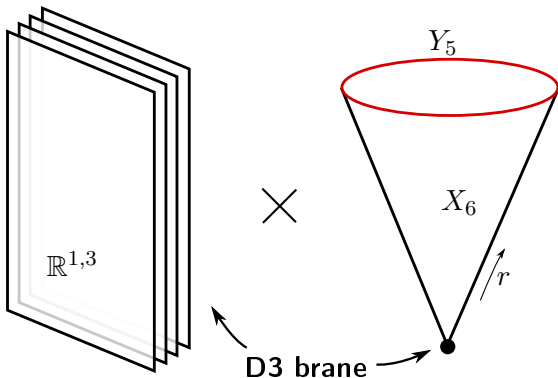
$Y_5$ : varietà compatta 5D

# 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

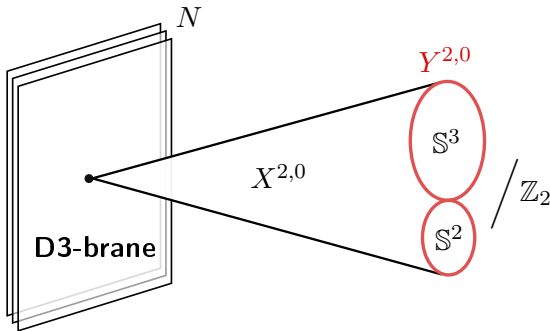
$$\mathbb{R}^{1,3} \times X_6 \longrightarrow \text{AdS}_5 \times Y_5,$$

$\Rightarrow$  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 $Y^{2,0}$

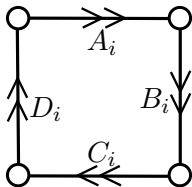
Gruppo di gauge:

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

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

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

Teoria di quiver:

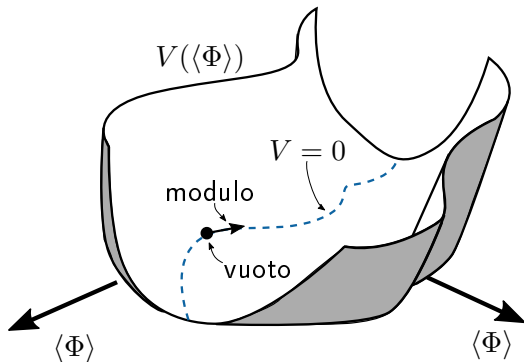


+ superpotenziale (interazione fra i campi di materia):

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



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  $Y^{2,0}$



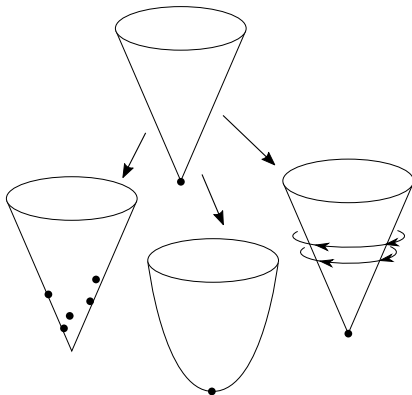
Moduli di SUGRA su  $\text{AdS}_5 \times Y^{2,0}$



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 ( $\tau, B_2, C_2, C_4$ )

$3N$  moduli immediati:

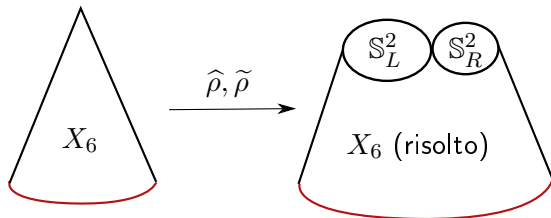
$$z_I^i,$$

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  $B_2, C_2$ :

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

- ▶  $\beta$ : campo dinamico.
- ▶  $\lambda$ : 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  $(\tau, \lambda)$ . Calcoliamo la  $\mathcal{L}_{\text{eff}}$  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:  $\sigma$ -model delle D3-brane
- ▶  $\mathcal{L}_{\text{eff}}$  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  $\mathcal{L}_{\text{eff}}$  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  $\mathcal{L}_{\text{eff}}$ , 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.