

Robustness of precipitation Emergent Constraints in CMIP6

O. Ferguglia¹, E. Palazzi^{1,2} and J. von Hardenberg^{2,3}

[(1) Dipartimento di Fisica, Università di Torino; (2) ISAC-CNR, Torino; (3) DIATI, Politecnico di Torino]



ABSTRACT

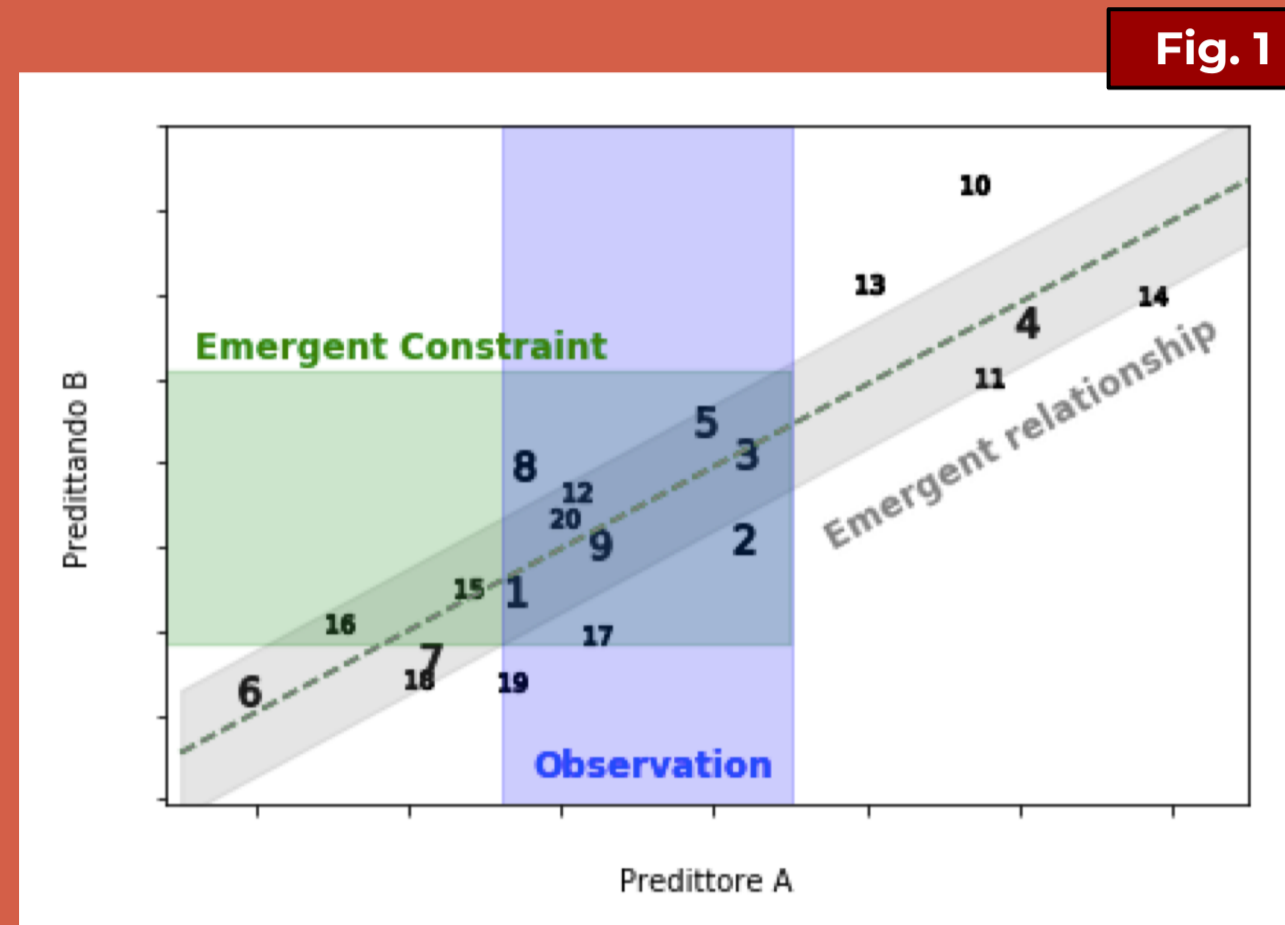
Per restringere la gamma di risposte tra i modelli climatici, è stata sviluppata in letteratura una metodologia chiamata Emergent Constraints (EC). Questa tecnica consiste nello stabilire una relazione statistica, in un ensemble di modelli, tra una variabile del clima attuale (predittore) e le proiezioni di un aspetto del clima futuro (predittando) simulate dai modelli. Una volta trovata una correlazione significativa, è possibile utilizzare osservazioni della variabile-predittore per vincolare (constrain) la risposta dei modelli nel simulare il predittando. Tra questi un numero limitato di EC è stato trovato anche per processi legati al ciclo idrologico. Recentemente è stato scoperto che un numero rilevante di EC in letteratura non è consolidato da una solida spiegazione fisica e molti di essi, sviluppati e testati con l'ensemble CMIP5, sembrano essere non più significativi con i nuovi modelli CMIP6. Tuttavia l'analisi per quanto riguarda EC legati al ciclo idrologico risulta ancora incompleta. Lo scopo di questo studio è testare tre EC applicati alle precipitazioni medie ed estreme e valutare se la significatività statistica sopravvive utilizzando i recenti modelli CMIP6: (a) la "hydrological sensitivity" globale vincola i cambiamenti locali nelle proiezioni di precipitazione estrema: questa relazione non è robusta usando il nuovo ensemble CMIP6; (b) i cambiamenti futuri nella precipitazione del monzone estivo indiano sono vincolati dalla precipitazione media nel Pacifico occidentale, relazione che sembra non sopravvivere al passaggio ai modelli CMIP6; (c) i cambiamenti negli estremi futuri della precipitazione tropicale sono vincolati con la stessa variabile nel passato: l'EC risulta robusto sia in CMIP5 che in CMIP6 (Ferguglia et al., 2022, in prep.)

EMERGENT CONSTRAINT (EC)

Definizione: Un EC è una relazione statistica tra le simulazioni dei modelli di un ensemble di una variabile del clima presente (predittore) e le proiezioni di una variabile del clima futuro (predittando).

→ **Obiettivo:** scegliere il giusto predittore in grado di vincolare, tramite l'EC, le risposte dei modelli del predittando.

→ **Come funziona?** La figura 1 mostra una ipotetica relazione lineare (EC) tra il predittore A, simulato da 19 modelli di un ensemble e le rispettive proiezioni del predittando B. Con osservazioni del predittore (banda blu), si può ridurre lo spread le proiezioni della variabile B: l'esempio suggerisce quali modelli sono considerati più realistici (contenuti nell'intersezione banda verde e blu).



Applicazioni: Equilibrium Climate Sensitivity, cloud feedbacks, carbon cycle, high-latitude processes **hydrological cycle** e molti altri (Williamson et al., 2021)

Criteri di affidabilità per EC:

- Base fisica solida
- EC non deve dipendere dal set di modelli scelti all'interno dello stesso ensemble (out-of-sample test)
- EC deve resistere al cambio di ensemble
- Scelta delle osservazioni del predittore

Ciclo idrologico e precipitazione:

- Parametrizzazioni nei modelli
- Interessato da diversi feedback climatici
- Le proiezioni di precipitazione sono affette da gravi incertezze tra i modelli

Problema:

Recentemente è stato scoperto che molti ECs in letteratura mancano di una solida base fisica. Testati con modelli dell'ensemble CMIP6, non risultano robusti (Hall et al., 2019)

Quali ECs sulla precipitazione sono sufficientemente robusti da sopravvivere al passaggio da CMIP5 a CMIP6?

Regional wet extremes VS Global Hydrological sensitivity

I modelli che prevedono un aumento nella precipitazione media globale, prevedono anche un aumento più forte negli estremi di precipitazione sui tropici? (Thackeray et al., 2018)

→ **"Predittore":** global Hydrological Sensitivity (HS) [$mm/day K^{-1}$]

→ **Predittando:** local future changes in extreme precipitation events [$mm/year K^{-1}$]

Fig. 2a

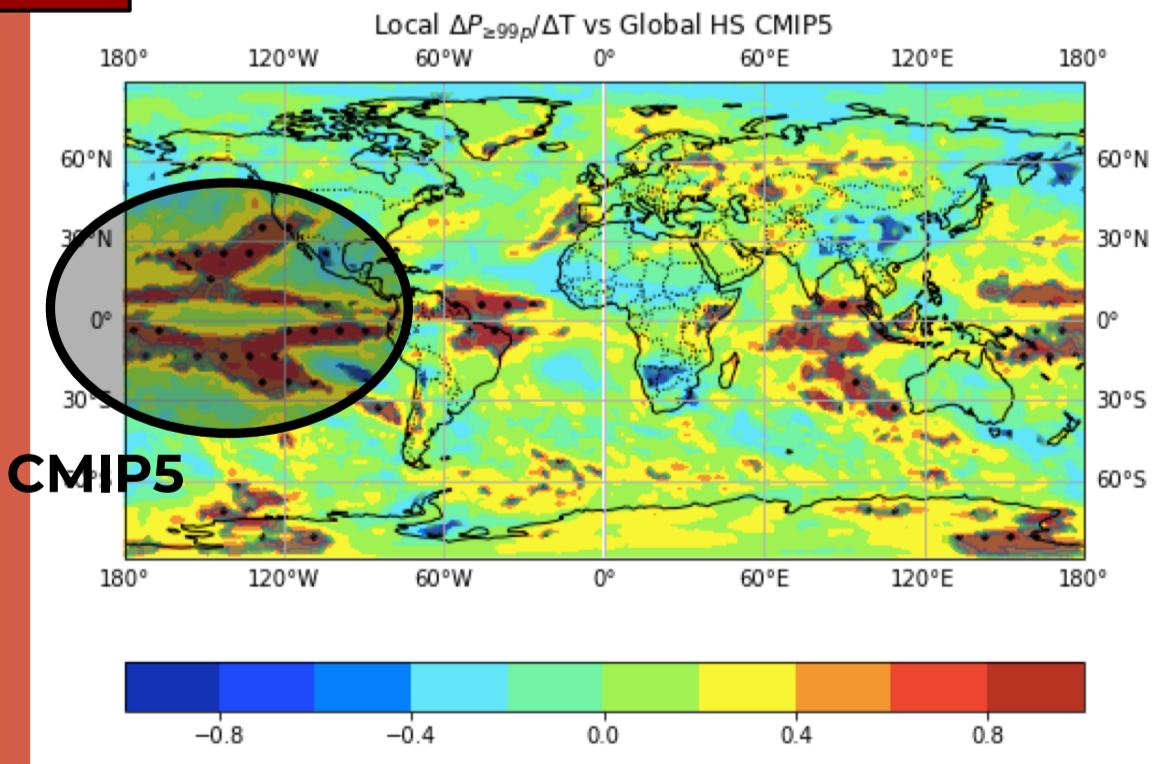
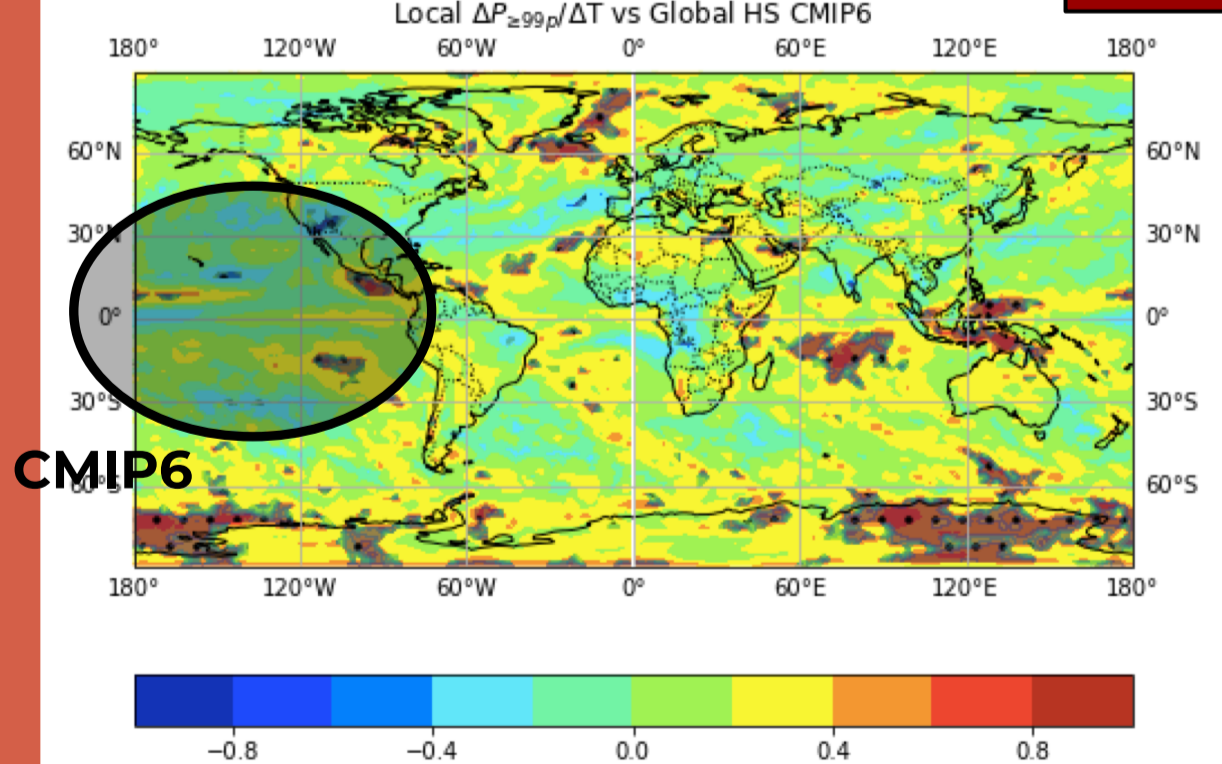


Fig. 2b



Il forte segnale di correlazione tra predittore e predittando sull'oceano Pacifico tropicale con l'ensemble CMIP5 (Fig. 2a) non è più visibile con l'ensemble CMIP6 (Fig. 2b). Dalle analisi emerge che lo spread dei modelli sul predittando ha subito una riduzione da CMIP5 a CMIP6 mentre è rimasto invariato quello sul «predittore».

Va cercato un altro PREDITTORE

Metodi e modelli

Per questo studio, sono stati utilizzati 27 Global Climate Models (GCMs) da CMIP5 (set 1) e 29 GCMs da CMIP6 (set 2), laddove erano disponibili dati di precipitazione giornaliera e temperatura mensile da scenari historical e rcp85/ssp585. Per ciascuna sezione, l'EC è stato riprodotto con il set 1 (out-of-sample test) e successivamente con il set 2, per verificare la robustezza della relazione al cambio di ensemble.

Indian summer monsoon rainfall VS western pacific precipitation

PRELIMINARY

Il secondo EC, sviluppato con CMIP5, vincola la pioggia dell'Indian Summer Monsoon (ISM) con la precipitazione (Li et al., 2017). Con 24 modelli in CMIP5, Li et al. (2017) trovano una correlazione di $r=0.63$ con significatività superiore a 99.9%.

→ **Predittore:** precipitazione media Western Pacific [mm/day]

→ **Predittando:** cambi futuri nella precipitazione dell'Indian Summer Monsoon (ISM) [$mm/day °C^{-1}$]

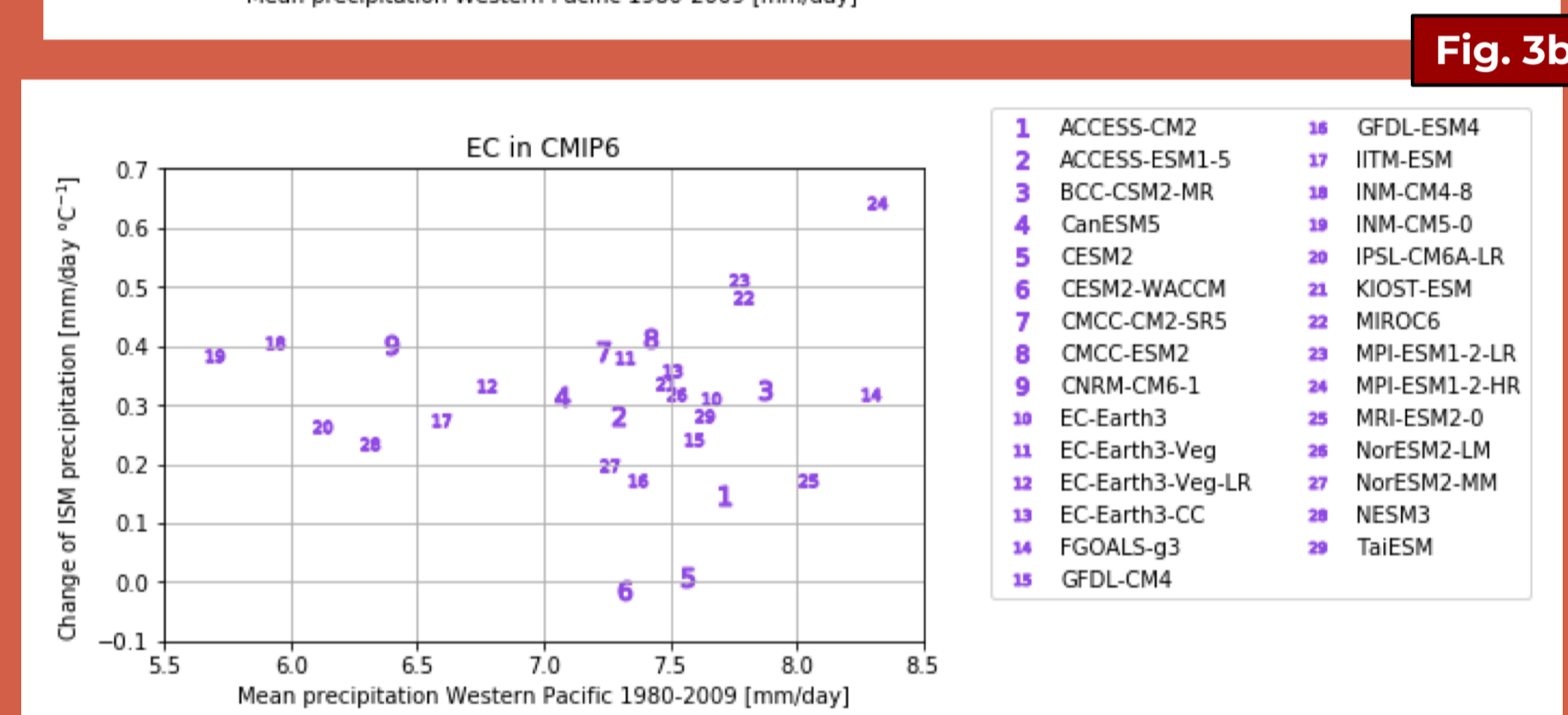
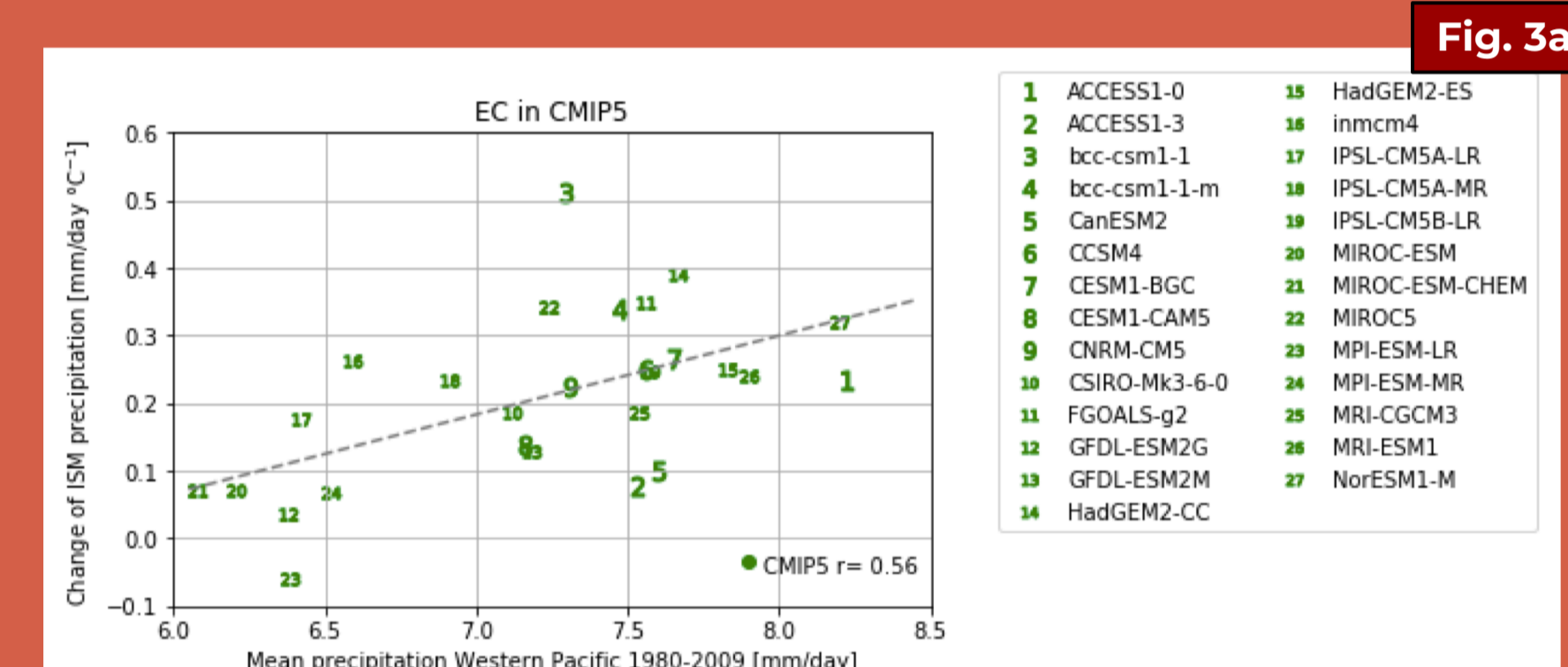
CORRELAZIONE

- CMIP5 $r=0.56$ significatività $\geq 95\%$
- CMIP6 r non significativo

ANALISI BOOTSTRAP

Con un set di 39 modelli CMIP5, eseguo un'analisi bootstrap con un sottoinsieme di 24 modelli $r=0.35 \pm 0.01$

EC NON ROBUSTO
La relazione non sopravvive al out-of-sample test né al passaggio a CMIP6



Tropical extreme precipitation changes under climate change

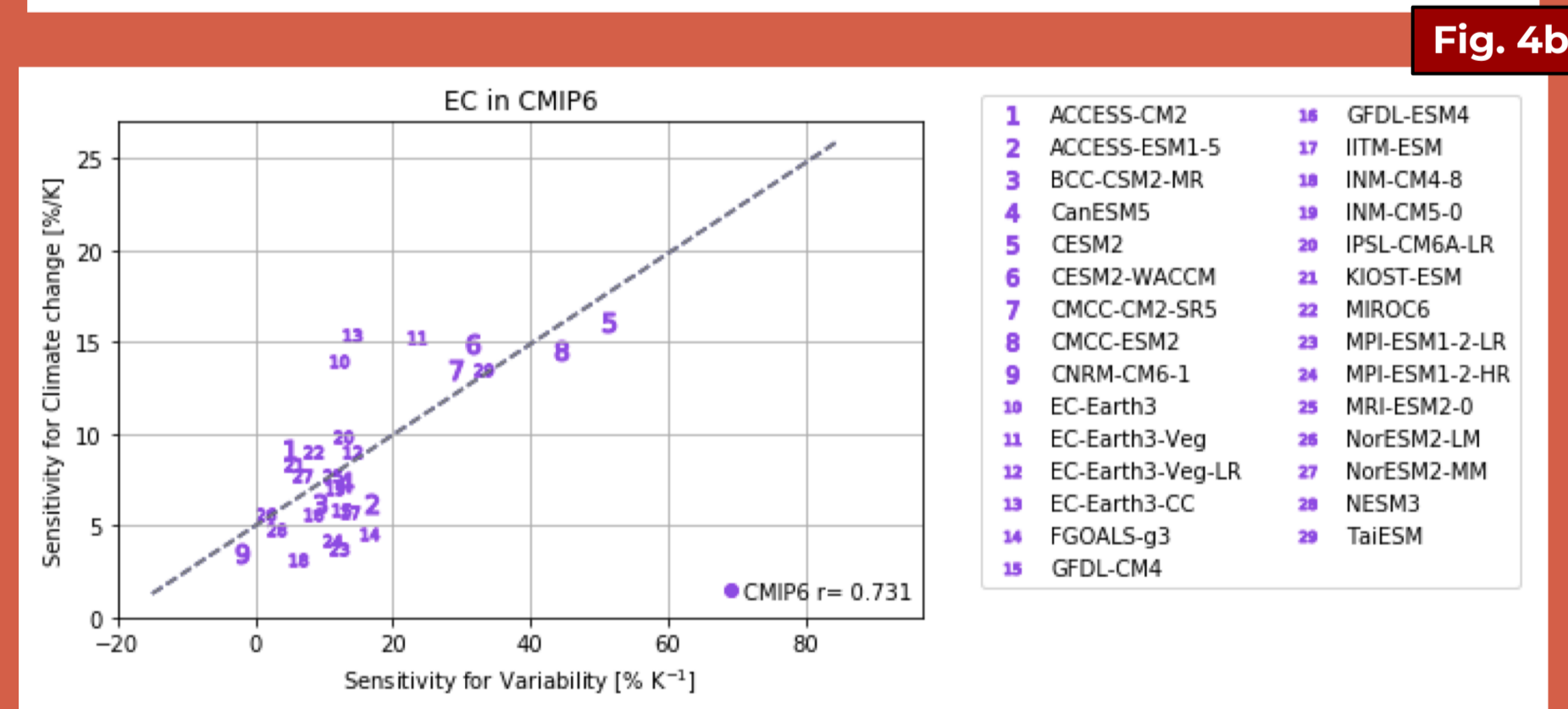
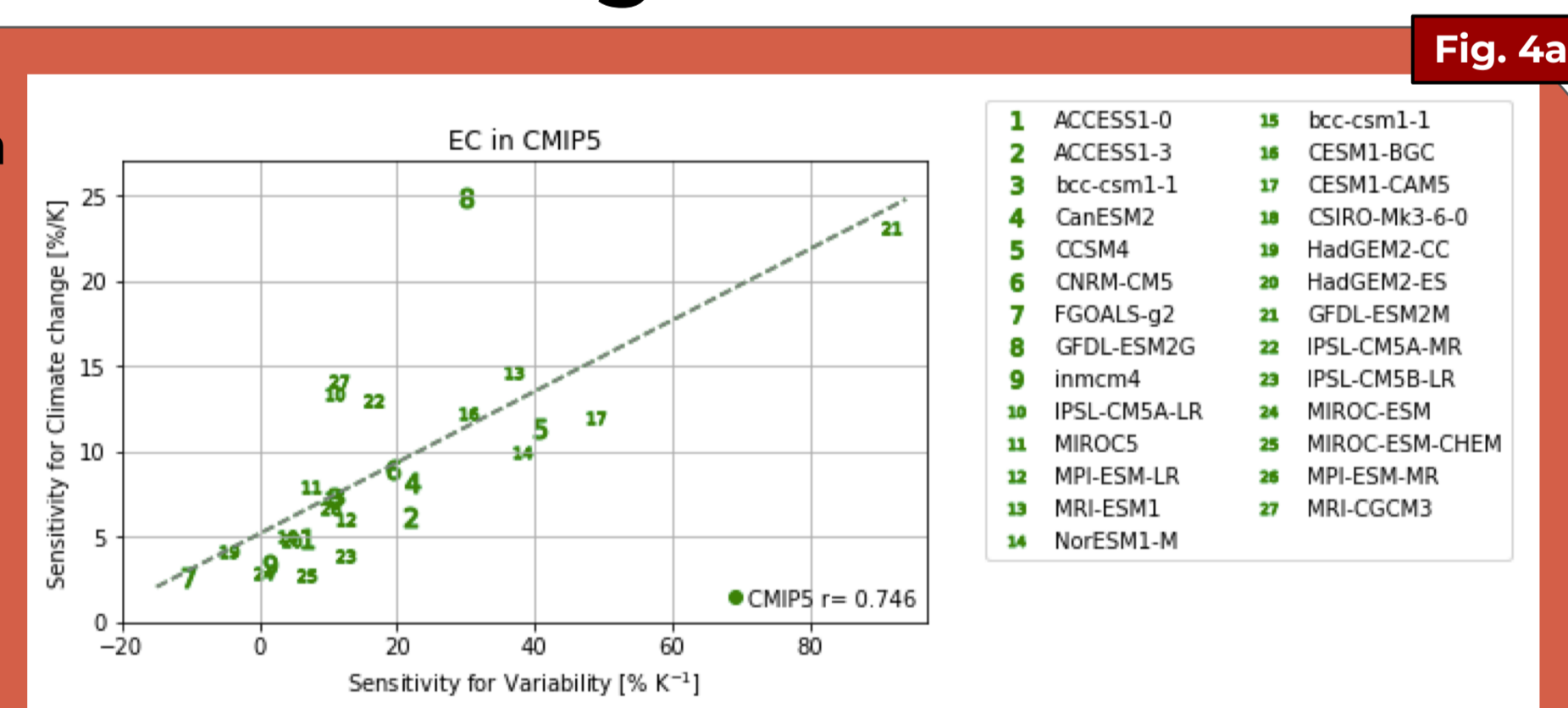
Il terzo EC analizza la variabilità dei modelli nelle proiezioni di precipitazione estrema sui tropici (O'Gorman, 2012)

→ **Predittore:** sensitivity of tropical precipitation extremes to temperature variability Sensitivity for Variability [% K^{-1}]

→ **Predittando:** changes in future daily tropical precipitation extremes Sensitivity for Climate Change [% K^{-1}].

CORRELAZIONE

- Original CMIP3 $r=0.87$
- CMIP5 $r=0.75$
- CMIP6 $r=0.73$ significatività $\geq 99.9\%$



EC ROBUSTO
Si può proseguire tramite inferenza per selezionare i modelli più affidabili e ridurre lo spread del predittando

Results

- ❖ EC 1. Relazione robusta in CMIP5 ma non in CMIP6. Gli estremi di precipitazione ai tropici non possono essere vincolati con precipitazione media globale, è necessario indagare un altro predittore
- ❖ EC 2. La relazione è troppo sensibile al cambio di modelli all'interno dello stesso ensemble e non sopravvive con CMIP6. L'EC non è robusto.
- ❖ EC 3. Questo EC si conferma robusto sia con modelli CMIP5 che CMIP6.

References

Ferguglia, O., Palazzi, E. and von Hardenberg, J., 2022, in prep. • Hall, A., Cox, P., Huntingford, C. and Klein, S., 2019, in Nat. Clim. Change, 269-278; • Li, G., Xie, S. P., He, C., and Chen, and Z. S., 2017, in Nat. Clim. Change, 708-712; • O'Gorman, P. A., 2012, in Nature Geoscience, 697-700; • Thackeray, C. W., De Angelis, A. M., Hall, A., et al., 2018, in Geophysical Research Letters, 45; • Williamson, W. S., Thackeray, C. W., Cox, P. M., et al., 2021, in Rev Mod Phys, 93-025-004;