

**Titolo: "Verità a terra": contributo allo studio della sensibilità della missione satellitare ESA-NASA NGGM-MAGIC alle variazioni temporali di gravità.**

**Tutor: prof. U. Riccardi**

**Co-tutor(s): Dr. T. Pivetta (INGV), Dr. M. Reich (GFZ-Potsdam),**

**Proposta di ricerca:** *Delineare il contesto scientifico e gli scopi della proposta di progetto di dottorato (attenersi a 1000-1500 caratteri)*

Dal 2003 l'Agenzia Spaziale Europea (ESA) ha promosso studi per stabilire i requisiti scientifici, identificare le tecniche di misurazione più appropriate e definire gli scenari di sistema per la NGGM (Next Generation Gravity Mission). La NASA e l'ESA hanno deciso di collaborare per la realizzazione di una Next Generation Gravity Mission, come Mass-change And Geosciences International Constellation (NGGM-MAGIC).

L'obiettivo principale di MAGIC è identificare costellazioni NGGM ottimizzate per il monitoraggio a lungo termine delle variazioni temporali del campo gravitazionale terrestre ad alta risoluzione nel tempo (fino a 3 giorni) e nello spazio (75-100 km), fornendo continuità e miglioramento del servizio di monitoraggio delle variazioni e trasporto di massa nel sistema Terra (e dei fenomeni geofisici associati) rispetto alle missioni precedenti (GOCE, GRACE, GRACE-FO). I cambiamenti di gravità nel "sistema" Terra sono causati principalmente da processi di trasporto di massa nell'idrosfera continentale (oceani, atmosfera, criosfera) e nella Terra solida.

La missione NGGM-MAGIC, il cui lancio è previsto per il 2028, è ora nella fase di calibrazione/convalida. Si prevede che l'idrologia continentale sia la principale sorgente delle variazioni non-mareali di gravità osservate dai satelliti. La Terra è infatti un sistema dinamico accoppiato con una componente climatica che comprende l'atmosfera, gli oceani, la criosfera e l'idrologia continentale. Lo stato dell'arte ha dimostrato che la separazione degli accoppiamenti è possibile, a partire dall'analisi congiunta di più misure geodetiche e/o dei modelli climatici e idrologici.

In questo progetto consideriamo la possibilità di una validazione esterna utilizzando i dati dei gravimetri superconduttori (SG) del sub-array europeo dell'International Geodynamics and Earth Tide Service (IGETS) come "verità a terra" da confrontare con i segnali satellitari simulati, resi disponibili da alcuni enti di ricerca nazionali ed internazionali nel quadro dell'Accordo Attuativo ASI n. 2023-22.HH.0

CUP: F43C23000090005 *"NGGM/MAGIC, una svolta nella comprensione della dinamica della Terra"*.

**Programma di ricerca:**

Proponiamo di realizzare la cosiddetta "ground truth" o "verità a terra", cioè la validazione della simulazione del segnale gravimetrico atteso alla superficie terrestre ottenuta dalla missione NGGM

## MAGIC.

La "ground truth" nelle missioni satellitari passate e in corso, come GRACE e GRACE-FO, è stata realizzata attraverso una "continuazione verso il basso" del campo satellitare. Le variazioni di gravità del satellite in una posizione SG sono solitamente ricostruite dai coefficienti di Stokes delle armoniche sferiche (SH) forniti da diversi centri di analisi, con l'aiuto di un'appropriata combinazione di numeri di Love di carico, che descrivono la risposta della Terra ai loading superficiali.

Per fare ciò, dobbiamo considerare le variazioni di gravità nel tempo misurabili in un'area con lati di almeno qualche centinaio di km, dove le registrazioni gravimetriche acquisite con più stazioni SG possono essere combinate per fornire una media comparabile al "footprint" NGGM-MAGIC. Questo è possibile solo in Europa occidentale, dove attualmente operano una decina di SG abbastanza vicini tra loro. I segnali provenienti dal cluster di SG selezionato saranno raccolti ed elaborati.

Rispetto ai gravimetri, i satelliti sono sensibili a fenomeni su scala più ampia; pertanto, qualsiasi confronto satellite/SG si basa su una variabilità comune tra le serie temporali SG su scala regionale. L'analisi delle Empirical Orthogonal Functions (EOF) si è dimostrata un metodo efficiente per riconoscere la variabilità comune nelle serie temporali degli SG, da confrontare con le variazioni di gravità derivate dalla simulazione delle osservazioni NGGM-MAGIC. Diverse tecniche statistiche multivariate, come la PCA e l'EOF, saranno applicate per estrarre i modi principali comuni dai segnali degli SG. L'analisi delle componenti principali, spesso indicata come PCA, è forse la tecnica statistica multivariata più utilizzata nell'analisi dei *Big Data*. La tecnica è stata introdotta nella letteratura di scienze atmosferiche da Obukhov (1947) e Lorenz (1956) ed è diventata popolare per l'analisi di dati atmosferici e geofisici spazio-temporali.

Quando sono disponibili più osservazioni di vettori di dati, la PCA/EOF riduce l'insieme dei dati a un insieme di dati contenente un minor numero di nuove variabili. Queste nuove variabili sono combinazioni lineari di quelle originali e queste combinazioni lineari sono scelte per rappresentare la massima frazione possibile della variabilità contenuta nei dati originali, pur essendo non correlate tra loro. In geofisica è in uso il termine funzione ortogonale empirica (EOF) per indicare la PCA ponderata geograficamente. Pertanto, in quanto PCA, questo metodo di analisi è una decomposizione del segnale o dell'insieme di dati in termini di funzioni base ortogonali, che vengono determinate dai dati, con l'obiettivo di ridurre la dimensionalità dei dati.

## Cronoprogramma

1° anno:

Ricerca bibliografica (focalizzata su NGGM e precedenti esperienze di valutazione della "Ground Truth" per GRACE e GRACE-FO);

Frequenza di corsi di dottorato incentrati principalmente sull'analisi dei dati, sulle tecniche statistiche multivariate e sulla modellazione idrologica;

2° anno:

2 mesi presso l'Università di Trieste per studiare PCA, EOF e altre tecniche statistiche multivariate; stage di 2 mesi all'estero presso il GFZ di Potsdam (Germania) per approfondire la modellazione delle variazioni di gravità dovute all'idrologia a diverse scale.

Presentazione dei risultati della ricerca a conferenze internazionali e in articoli peer-reviewed.

3° anno:

Modello finale del segnale gravimetrico atteso nel “footprint” NGGM-MAGIC. Presentazione dei risultati a conferenze internazionali e in articoli peer-reviewed. Stesura della tesi di dottorato.