



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI BARI
ALDO MORO

Corso di Laurea Triennale in Informatica e Comunicazione Digitale

Tesi di Laurea in Calcolo Numerico

Compressive Sensing nel monitoraggio di sistemi Smart Grid

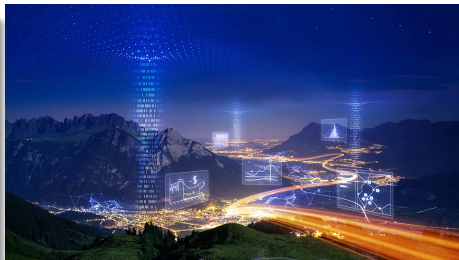
Relatrice:
Prof.ssa Giuseppina SETTANNI

Laureando:
Matteo LUCERI

- 1 Introduzione alle Smart Grid
- 2 Compressive sensing
- 3 Applicazioni Compressive Sensing alle Smart Grid
- 4 Simulazioni: Test e valutazione
- 5 Conclusioni

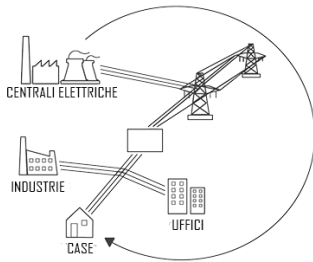
Smart Grid (SG): una rivoluzione nelle tecnologie delle reti elettriche

- reti a due livelli: fisico e informativo
- integra comportamento e azioni di tutti i parametri, misure e utenze connesse a loro.



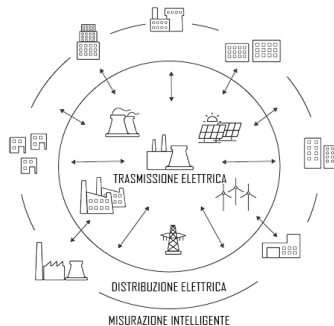
Rete tradizionale

- Monodirezionale
- Controllo e generazione centralizzata
- Riparazione manuale
- Tariffe fisse



Rete Smart Grid

- Bidirezionale
- Controllo e generazione decentralizzata e multilivello
- Prevenzione e Auto-Riparazione
- Tariffe variabili



Sfide e opportunità

Opportunità

- Aggregazione di numerose fonti rinnovabili → Vantaggi ambientali
- Contatori intelligenti → Calcolo tariffe variabili
- Grandi moli di dati analizzabili → Vantaggi di controllo e monitoraggio

Sfide

- La potenza iniettata da numerose fonti rinnovabili è intrinsecamente casuale → Comportamento probabilistico.
- Problematiche relative ai tempi, all'efficienza e all'accuratezza dell'analisi dei dati in tempo reale. → La quantità media di dati generati sarà tra 0,25 TB e 250 TB in un anno.

Monitoraggio nelle SG

Problematiche

- dipendente dalla qualità dei dati forniti dal sistema
- funziona male in caso di misurazioni parziali
- metodologie classiche inadatte alle SG → applicazioni in tempo reale e su larga scala

Obiettivo

Garantire piena osservabilità da informazioni parziali.

Soluzione

Queste sfide hanno portato allo sviluppo di un approccio comune, ovvero all'utilizzo di tecniche di Compressive Sensing e Sparse Recovery(CS-SR).

- 1 Raccolta e compressione dei dati (**Compressive Sensing**)
- 2 Trasmissione nel sistema SG
- 3 Recupero del dato originario (**Sparse Recovery**)
- 4 Analisi e elaborazione dei dati (senza perdita di informazione)

Compressive sensing

Il Compressive sensing (CS) è una nuova tecnica di elaborazione del segnale che ha rivoluzionato la scienza dell'analisi dei dati.

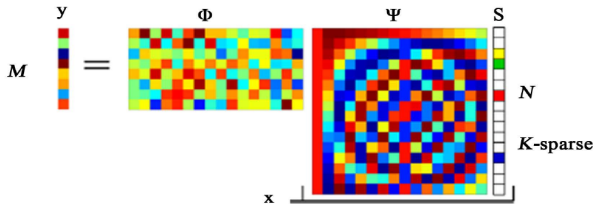
Il CS afferma che prendendo solo pochi numeri di misurazioni lineari casuali (proiezioni) del segnale sparso, esse saranno sufficienti per acquisire le informazioni salienti dal segnale e fornire così una qualità di ricostruzione accettabile.

Compressive sensing

- y , Misurazione \rightarrow Segnale compresso
- Φ , Matrice di rilevamento \rightarrow distribuzione Gaussiana
- x , segnale K -sparso (con K elementi non nulli) \rightarrow definito da Ψ , matrice delle basi, e dal vettore sparso S .

Equazione

$$y = \Phi x = \Phi \Psi S$$



Algoritmi di ricostruzione

Gli algoritmi di ricostruzione veloci ed efficienti sono le chiavi per incorporare il CS nelle applicazioni del mondo reale.

Esistono diverse classi di algoritmi di ricostruzione, i due importanti approcci sono:

- convex optimization \rightarrow problema minimizzazione \rightarrow LASSO
- algoritmi greedy \rightarrow problema ottimizzazione locale \rightarrow OMP

Applicazioni Compressive Sensing alle Smart Grid

Per applicare le tecniche algoritmiche di CS alle SG sarà necessario definire un modello di rete SG.

Tramite il tool open-source MATPOWER abbiamo costruito ed applicato il CS-SR su modelli dello standard IEEE a 30,118 e 300 Bus.

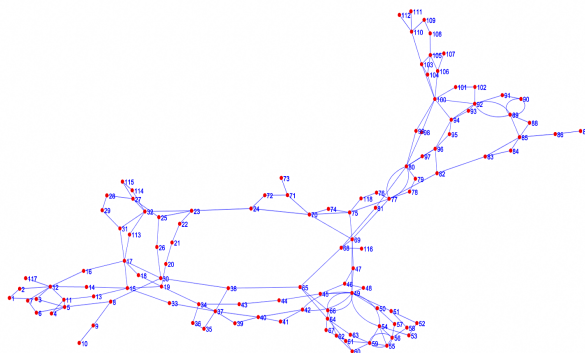
Applicazioni Compressive Sensing alle Smart Grid

Per applicare le tecniche algoritmiche di CS alle SG sarà necessario definire un modello di rete SG.

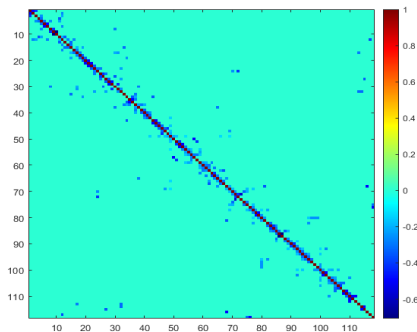
Tramite il tool open-source MATPOWER abbiamo costruito ed applicato il CS-SR su modelli dello standard IEEE a 30,118 e 300 Bus.

Definizione di un modello SG

Rappresentazione a grafo del modello IEEE a 118 Bus



Rappresentazione della matrice Laplaciana del modello IEEE a 118 Bus



Implementazione

Definito il modello e gli algoritmi risolutori, il tutto viene integrato mediante la creazione di un segnale sparso tramite il quale si genererà una misurazione.

Equazione

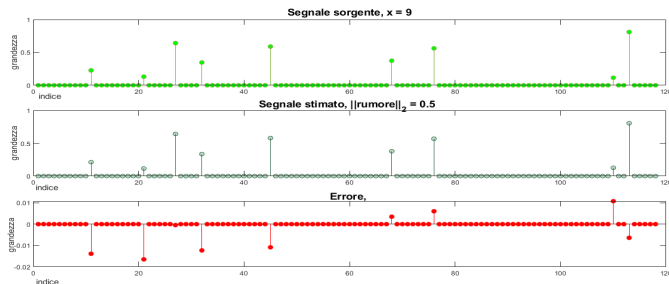
$$y = \Phi x = \Phi \Psi S$$

dove:

- $\Phi \rightarrow$ Matrice di *nodal admittance* dello standard IEEE
- $x \rightarrow$ segnale sparso generato casualmente, con un dato K .

Implementazione

Generata la misurazione y , essa sarà data come parametro agli algoritmi risolutori, i quali permetteranno il recupero del segnale x originario.



Simulazioni: Test e valutazione

Abbiamo effettuato i test sul funzionamento del CS di entrambe le tecniche considerate, OMP e LASSO, su diversi modelli di rete.

Casi considerati:

- Grado di sparsità $K \rightarrow K = 3, 5, 7, 9, 15$ e $20 \rightarrow$ OMP e LASSO
- Valore $\lambda \rightarrow \lambda = 1, 0.1, 0.01$ e $0.001 \rightarrow$ LASSO

Test

- Standard IEEE a 30, 118 e 300 Bus
- 6 casi $\rightarrow K$
- 5 sotto-casi $\rightarrow 4$ per il LASSO (λ) e 1 per l'OMP
- 5 misurazioni per ogni sotto-caso \rightarrow media
- 150 misurazioni per standard
- 450 misurazioni in totale

Misure di valutazione

Le misure scelte atte a valutare il grado di recupero del segnale sono:

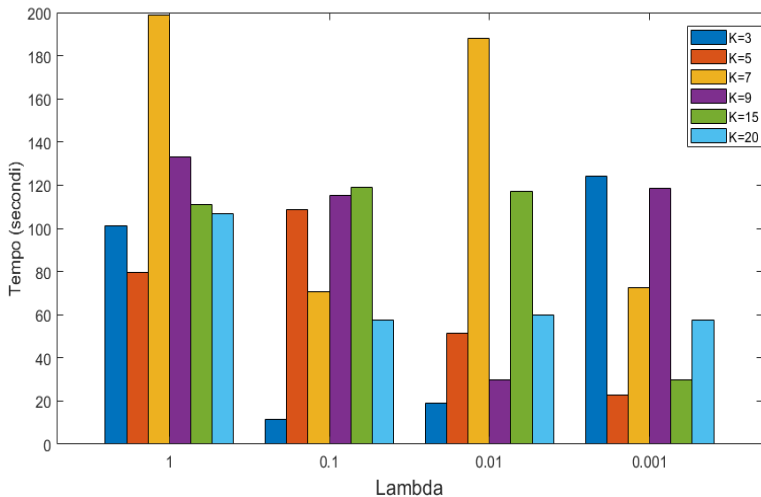
- Grado di sparsità del segnale, (OMP, LASSO)
- Valore λ , (LASSO)
- Tempo impiegato
- RMSE
- L'indice di Pearson
- Misura dell'errore assoluto.

Risultati e valutazione standard IEEE a 300 Bus

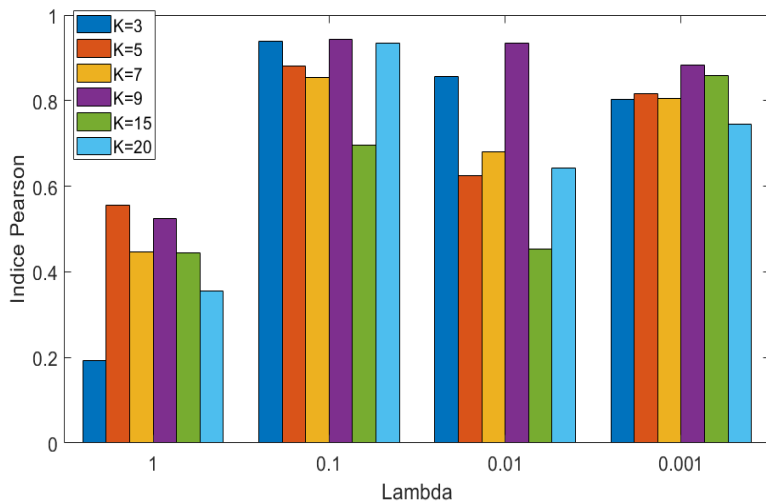
Valutiamo

- il miglior λ al variare del valore della K-sparsità \rightarrow LASSO
- le migliori performance al variare del valore della K-sparsità. \rightarrow LASSO e OMP

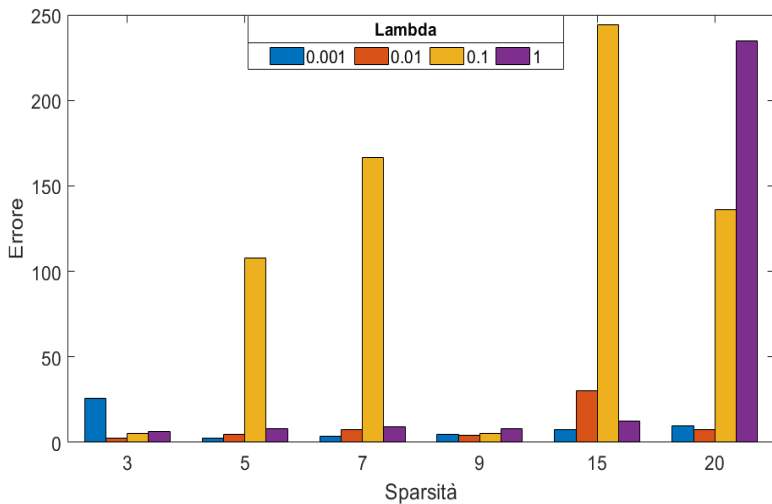
LASSO



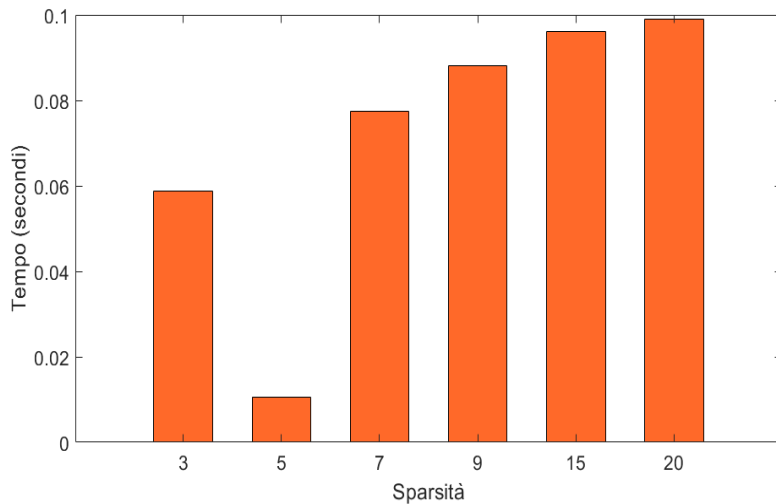
LASSO



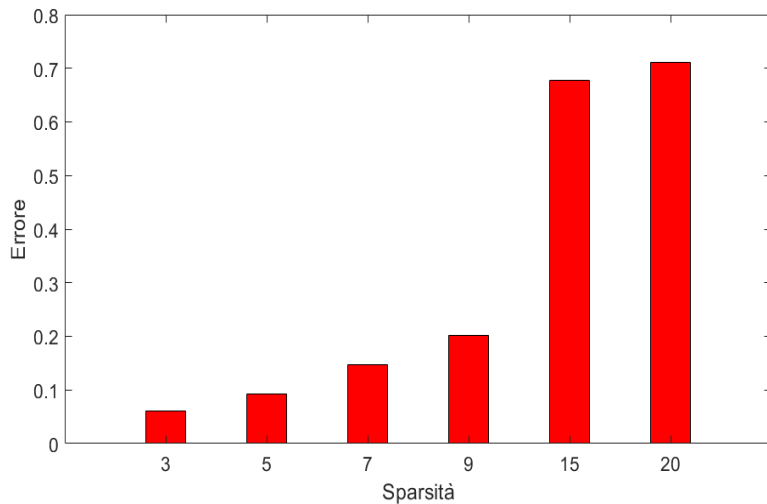
LASSO



OMP



OMP



Conclusioni

L'OMP costituisce la migliore soluzione garantendo:

- stabilità
- tempestività
- robustezza
- basso margine di errore

L'applicazione delle tecniche CS nelle Smart Grid, come in altri contesti, costituisce una risorsa che oggi garantisce una piena osservabilità da informazioni parziali in applicazioni su larga scala ed in tempo reale.

Grazie dell'attenzione