



# Utilizzo di machine learning per le ispezioni di salvaguardia del combustibile esaurito

**Dr. Riccardo Rossa**

Giornata studio AIN 2020 – 16/07/2020

# Sommario

- **Introduzione**
  - **SCK CEN – The Belgian nuclear research centre**
  - **Salvaguardie nucleari (nuclear safeguards)**
  - **Combustibile esaurito (spent nuclear fuel)**
- Machine learning applicato alle salvaguardie
  - Regressione – Parametri del combustibile
  - Classificazione – Rilevamento della rimozione del combustibile
- Conclusioni



# SCK CEN – The Belgian nuclear research centre

- Centro di ricerca nucleare statale
  - Fondato nel 1952
  - ~850 lavoratori, >40 nazionalità
  - 95 M€ di budget annuale
- Linee di ricerca principali:
  - Sicurezza nucleare
  - Protezione dalle radiazioni
  - Applicazioni mediche ed industriali
  - Gestione scorie e decommissioning
  - Non-proliferazione nucleare
  - Formazione accademica

**sck cen**

Belgian Nuclear Research Centre



# Introduzione

- Possibili applicazioni dell'energia nucleare:
  - Produzione di elettricità
  - Medicina nucleare
  - Produzione di silicio dopato
  - Ricerca sui materiali
- Armi nucleari
- Radiological dispersion devices ("bombe sporche")



**Salvaguardie  
nucleari**



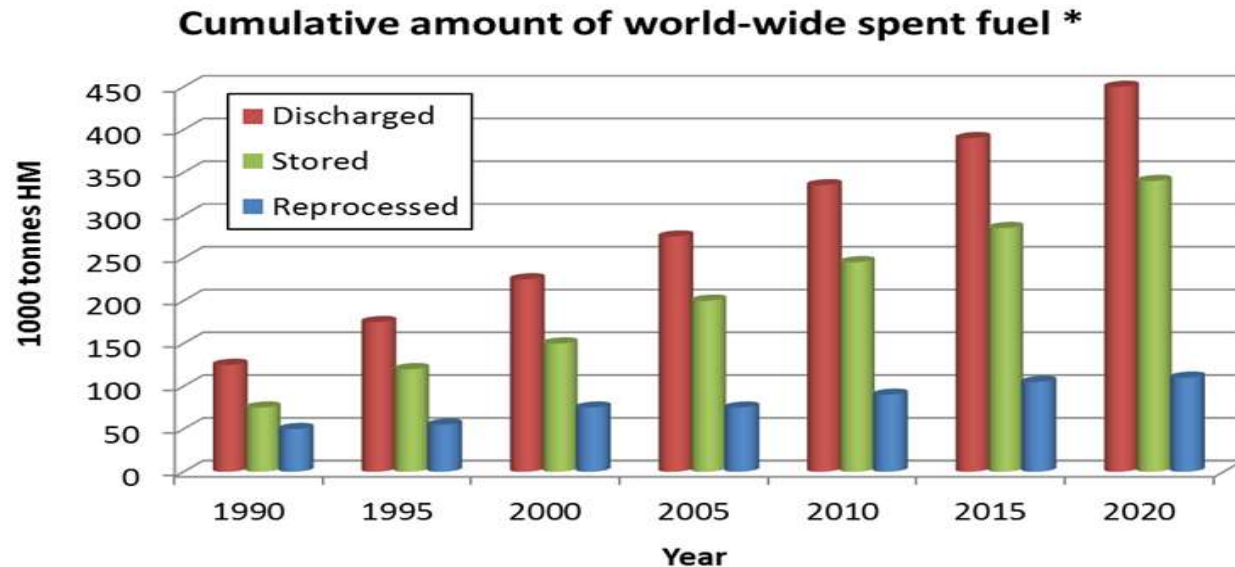


# Salvaguardie nucleari (nuclear safeguards)

- Insieme di controlli per verificare che gli Stati membri firmatari utilizzino materiale e tecnologia nucleare solo per scopi pacifici
  - Trattato Euratom (EU, 1957)
  - Trattato di Non-Proliferazione (NPT, 1970)
  - Additional Protocol (AP, 1997)
- Ispezioni condotte da:
  - Agenzia Internazionale dell'Energia Atomica (NPT, AP)
  - Commissione Europea DG-ENER (EU)
- Focus su materiale fissile ( $^{235}\text{U}$  e Pu)



# 80% del materiale sotto salvaguardie è spent fuel



\* Ref: IAEA Spent Fuel Reprocessing Options, 2008

- Il combustibile esaurito è uno dei materiali più difficili da verificare
  - Composizione isotopica molto complessa
  - Nessun accesso diretto al materiale (radiazione, calore)
- Le ispezioni di salvaguardia devono verificare:
  - Correttezza delle dichiarazioni: elemento di combustibile ha i corretti IE, BU, CT
  - Completezza delle dichiarazioni: nessuna barretta di combustibile è stata rimossa

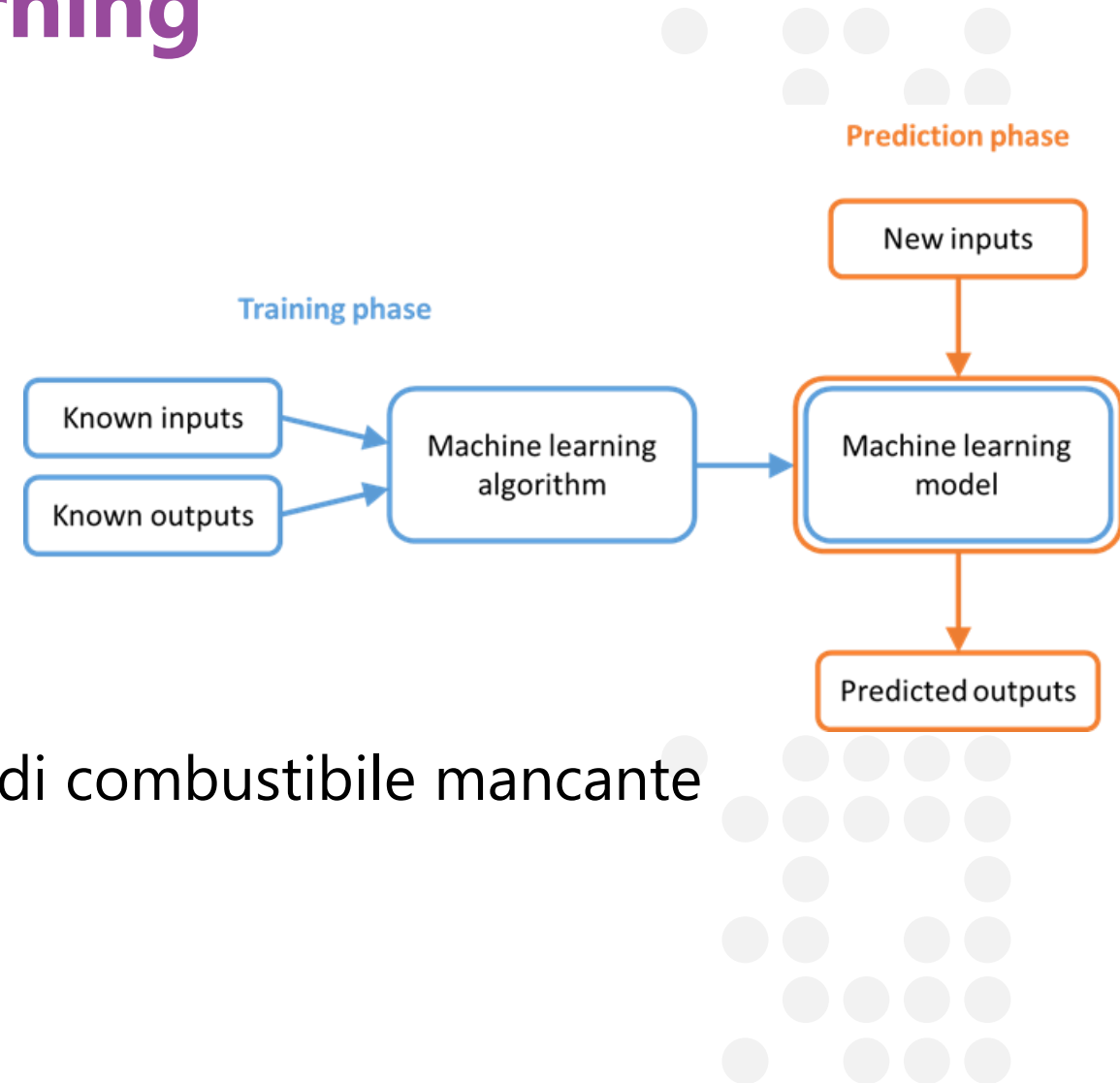
# Sommario

- Introduzione
  - SCK CEN – The Belgian nuclear research centre
  - Salvaguardie nucleari (nuclear safeguards)
  - Combustibile esaurito (spent nuclear fuel)
- **Machine learning applicato alle salvaguardie**
  - **Regressione – Parametri del combustibile**
  - **Classificazione – Rilevamento della rimozione del combustibile**
- Conclusioni



# Approccio di Machine Learning

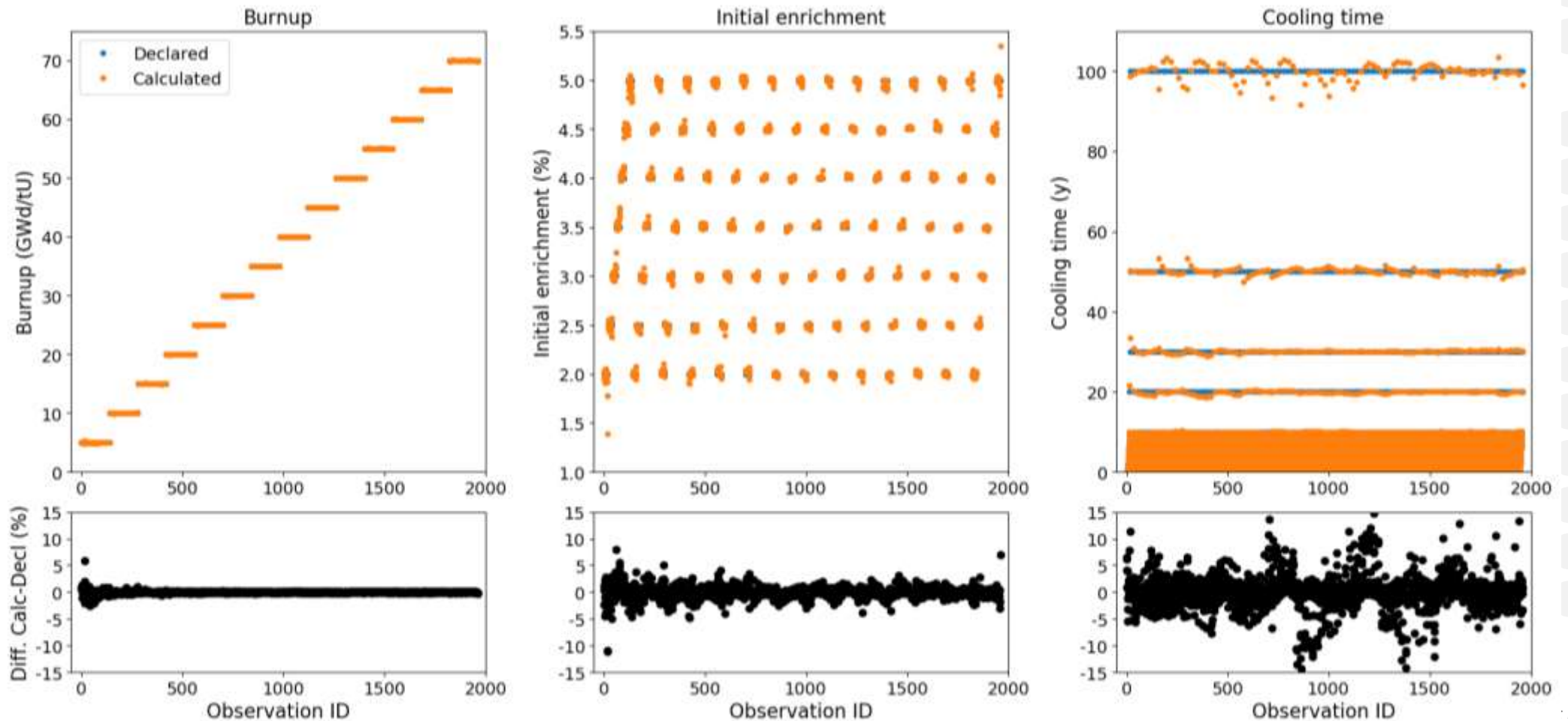
- Esempio di regressione:
  - Dati di input: simulazioni di misure
  - Risultati del modello: IE, BU, CT
  - Tecnica utilizzata: reti neurali
- Esempio di classificazione:
  - Dati di input: simulazioni di misure
  - Risultato del modello: percentuale di combustibile mancante
  - Tecniche utilizzate:
    - Decision trees
    - k-Nearest Neighbors



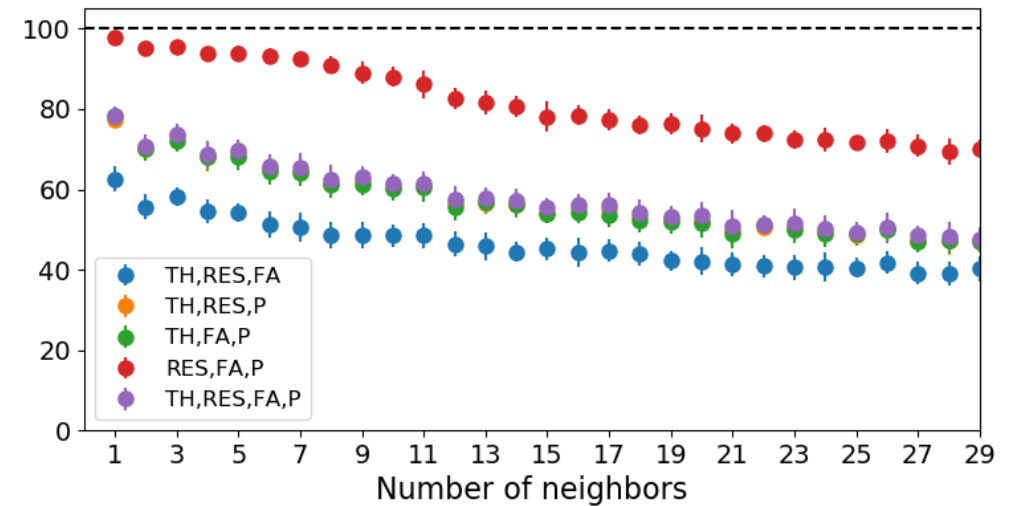
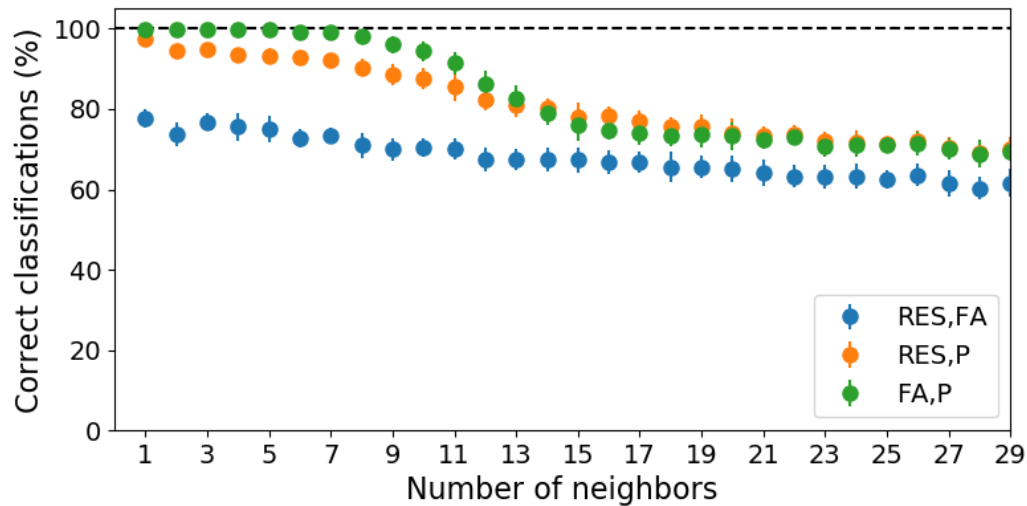
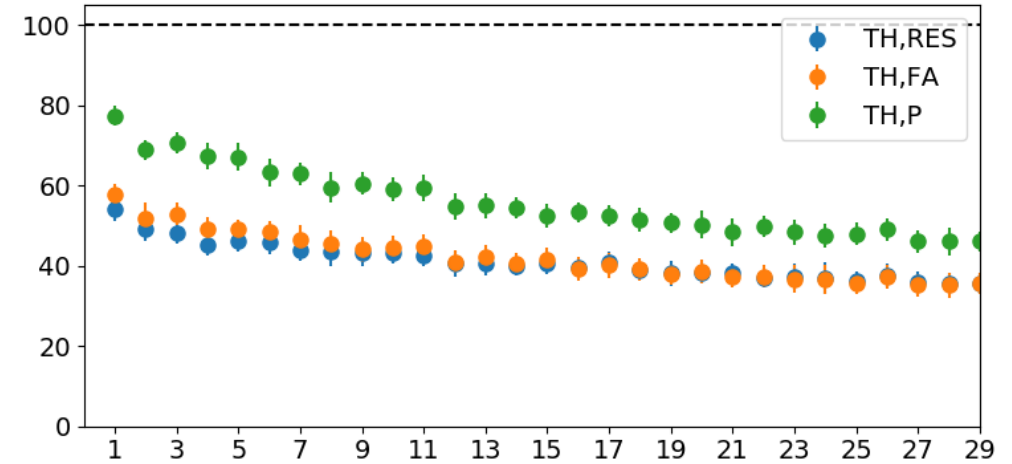
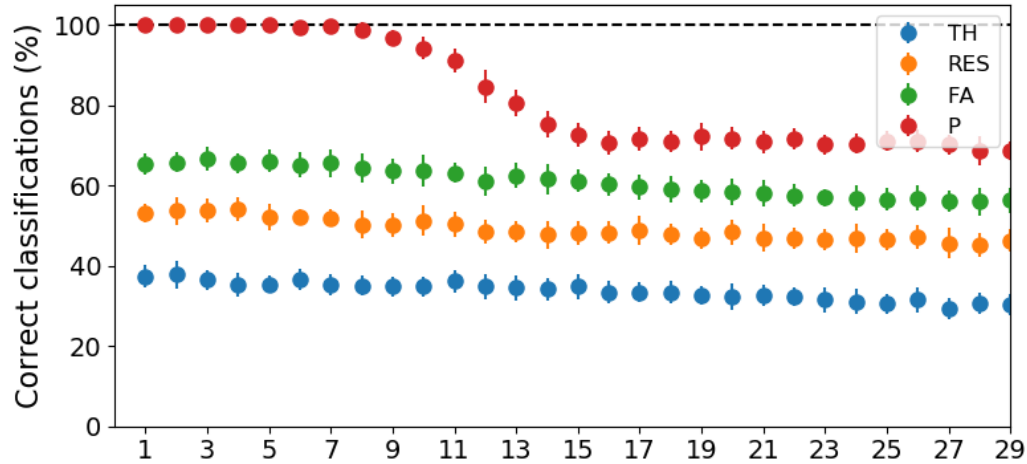


# Esempio di regressione – risultati

- Predizioni della rete neurale – 2 hidden layers (20 neuroni per layer)
- Pre-processamento del cooling time (CT) come  $(\ln(\text{CT}) + 10)$



# Esempio di classificazione – risultati (metodo kNN)



# Sommario

- Introduzione
  - SCK CEN – The Belgian nuclear research centre
  - Salvaguardie nucleari (nuclear safeguards)
  - Combustibile esaurito (spent nuclear fuel)
- Machine learning applicato alle salvaguardia
  - Regressione – Parametri del combustibile
  - Classificazione – Rilevamento della rimozione del combustibile
- **Conclusioni**



# Conclusioni

- Vari metodi di machine learning sono stati applicati ad esempi di salvaguardie del combustibile esaurito
- Esempio di regressione – Parametri del combustibile
  - Importanza di pre-processare i dati di input
  - Il cooling time è la variabile più difficile da stimare
- Esempio di classificazione – Rilevamento della rimozione del combustibile
  - I modelli sono in grado di determinare la percentuale di combustibile mancante
  - I rilevatori di raggi gamma sono i più sensibili alla rimozione del combustibile

## Copyright © SCK CEN

### PLEASE NOTE!

This presentation contains data, information and formats for dedicated use only and may not be communicated, copied, reproduced, distributed or cited without the explicit written permission of SCK CEN.

If this explicit written permission has been obtained, please reference the author, followed by 'by courtesy of SCK CEN'.

Any infringement to this rule is illegal and entitles to claim damages from the infringer, without prejudice to any other right in case of granting a patent or registration in the field of intellectual property.

### **SCK CEN**

Studiecentrum voor Kernenergie  
Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire  
Belgian Nuclear Research Centre

Stichting van Openbaar Nut  
Fondation d'Utilité Publique  
Foundation of Public Utility

Registered Office: Avenue Herrmann-Debrouxlaan 40 – BE-1160 BRUSSELS  
Operational Office: Boeretang 200 – BE-2400 MOL