TECNICHE DI INTELLIGENZA ARTIFICIALE NELL'IMAGING: ISTRUZIONI PER L'USO

Intelligenza artificiale e radiomica nella diagnostica per immagini: introduzione a strumenti e metodi

Azienda Ospedaliera di Perugia
7 novembre 2025

Francesco Bianconi
Dipartimento di Ingegneria
Università degli Studi di Perugia
bianco@ieee.org

A.D. 1308 unipg

Sommario

- **Introduzione e background**
- **Concetti base dell'IA**
- **Radiomica**
- **Strumenti per la radiomica**
  1. Pre-processamento, segmentazione, estrazione delle caratteristiche
  2. Analisi dei dati, costruzione modelli predittivi
  3. Strumenti integrati
- **Limitazioni ed ostacoli**
- **Conclusioni**

Introduzione e background

Intelligenza artificiale: definizione

- La capacità di un computer o di un sistema/robot controllato da un computer di eseguire compiti svolti da **esseri intelligenti** (Britannica)

Intelligenza artificiale: il test di Turing ‘*Imitation game*’ (1949)

- Un valutatore umano (C) dialoga con due parti, di cui una è una **macchina** (A) e l’altra è un **umano** (B)
- Il valutatore (C) non sa quale sia l’umano e quale la macchina
- Se il valutatore non riesce a determinare qual è l’umano e quale la macchina allora la macchina **ha superato il test**

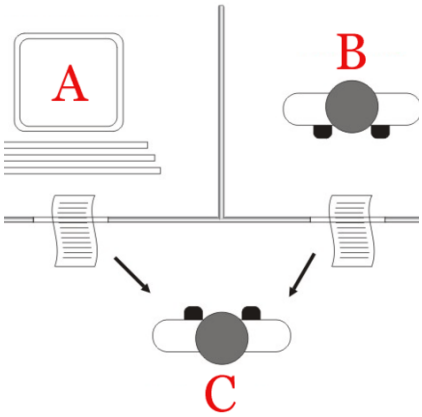


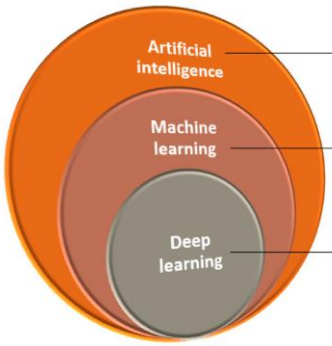
Image credits: J.A. Sánchez Margallo via Wikimedia Commons. CC BY 2.5.

ChatGPT ed il test di Turing

- Per lungo tempo considerato **fuori dalla portata** dei sistemi di intelligenza artificiale
- Uno studio pubblicato nel marzo 2025 ha stabilito che ChatGPT 4.5 era in grado di superare il test di Turing nel **73%** dei casi (risultati in fase di validazione)

Fonte: Jones and Bergen, arXiv (2025)

Intelligenza artificiale, *machine learning* e *deep learning*



Capacità di eseguire operazioni 'intelligenti'

Prendere decisioni a partire da esempi

Modelli decisionali basati su sistemi neurali profondi (e.g. CNN)

Adattato da S. Busnatu et al., Journal of Clinical medicine, 2022 CC BY 4.0.

Intelligenza artificiale: applicazioni in ambito medico

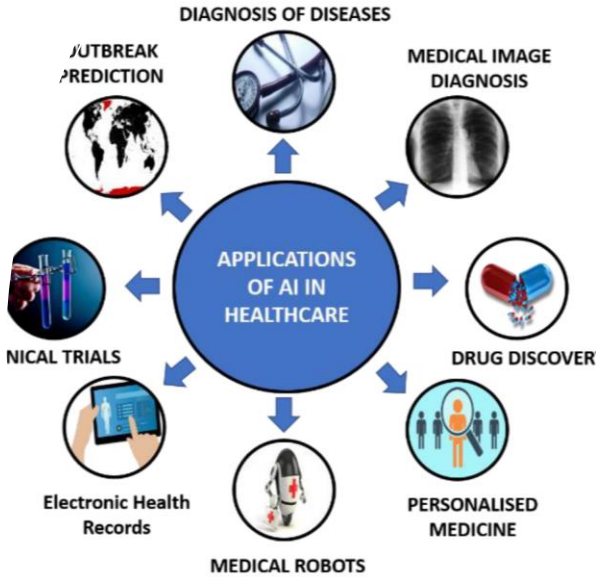


Image credits: S. Pandya et al., Sensors, 2021 CC BY 4.0.

Concetti di base dell'IA

Feature

Parametri **quantitativi** che descrivono il fenomeno allo studio

- Parametri clinici
  - Pressione arteriosa, livello di glucosio, emocromo, …
- Parametri di imaging:
  - Semi-quantitativi (diametro, SUVmax, MTV, TLG,…)
  - Radiomici
    - *Statistiche del 1° ordine* (media, std, quartili, entropia,…)
    - *Forma* (circolarita, sfericità, allungamento,…)
    - *Texture* (GLCM, GLRLM, LBP,…)

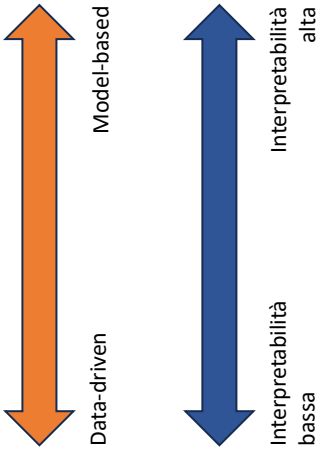
Modelli predittivi (o modelli)

Algoritmi che utilizzano le feature per generare predizioni

- **Espliciti** (definiti *a priori*)
  - Basati su regole fisse definite a priori (e.g.: se $a > b$ allora c)
- **Impliciti** (*appresi*)
  - Generati automaticamente attraverso l'apprendimento

Feature + modelli: dai sistemi esperti al deep learning

- **Sistemi esperti** (o sistemi basati su regole) 1970—
  - Feature definite a priori (*feature engineering*)
  - Modelli definiti a priori (regole esplicite)
- **Machine learning** (1990—)
  - Feature definite a priori
  - Modelli appresi dai dati (classificatori 'automatici')
- **Deep learning** (2010—)
  - Feature apprese dai dati
  - Modelli appresi dai dati



Radiomica

Radiomica

- Termine proposto per la prima volta da Lambin et al. (Eur J Cancer, **2012)**
- Estrazione di **dati quantitativi** (**feature**) a partire da imaging medico (CT, PET, MRI, etc.)
- Utilizzo delle feature come **supporto alle decisioni cliniche**
  - Confronto con valori soglia
  - Costruzione di modelli predittivi complessi (*machine learning* o *deep learning*)

Aree di potenziale applicazione

- **Settore oncologico**
  - Tumori solidi
- **Condizioni neurodegenerative**
  - Alzheimer's, Parkinson's, etc.
- **Patologie cardiovascolari**
  - Coronaropatie, scompenso cardiaco.

Applicazioni nel settore oncologico

- **Diagnostica assistita**
  - Benigno vs. maligno
  - Primario vs. metastatico
  - Predizione sottotipo istologico
- **Stratificazione rischio**
  - Predizione sopravvivenza
- **Scelta approccio terapeutico**
  - Predizione risposta alla terapia (chemio-, radio-, immuno-terapia)

Potenziali vantaggi della radiomica

- Analisi a **campo intero** della regione d'interesse
- Basata su dati **quantitativi**, **oggettivi** e **riproducibili**
- Metodica **non invasiva**

Radiomica convenzionale vs. radiomica deep learning

Radiomica convenzionale

- Basata sul modello **machine learning** (feature engineering + classificatori automatici)
- Discreta interpretabilità delle feature e dei modelli
- Costo computazionale contenuto
- Può lavorare con quantità di dati limitate

Radiomica deep learning

- Basata sul modello deep learning (feature e modelli entrambi appresi)
- Bassa interpretabilità delle feature e dei modelli ('black box')
- Costo computazionale medio-alto
- Richiede elevate quantità di dati per l'addestramento
- Performance elevate

Radiomica convenzionale: le fasi del processo

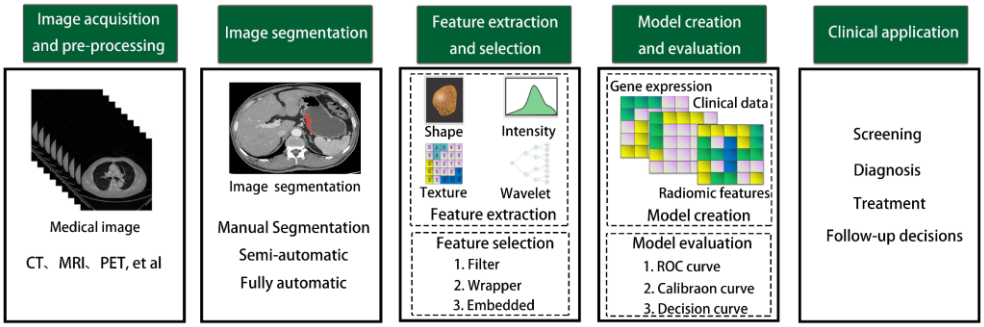


Image credits: W. Zhang et al., Symmetry, 2023 CC BY 4.0.

Acquisizione e pre-processamento

Consiste nell'esecuzione dell'esame ed in una o più tra le seguenti operazioni:

- **Filtraggio**
- **Resampling spaziale**
- **Finestratura e quantizzazione del segnale**

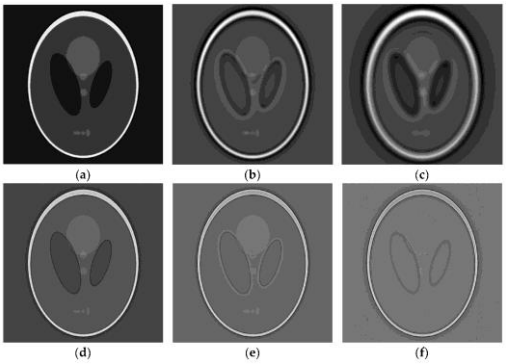


Image credits: Y. Jiang et al., Mathematics, 2022 CC BY 4.0.

Segmentazione

Consiste in:

- **Identificazione** della lesione
- **Contornazione** della lesione

Può essere:

- **Manuale**
- **Semi-automatica**
- **Automatica**

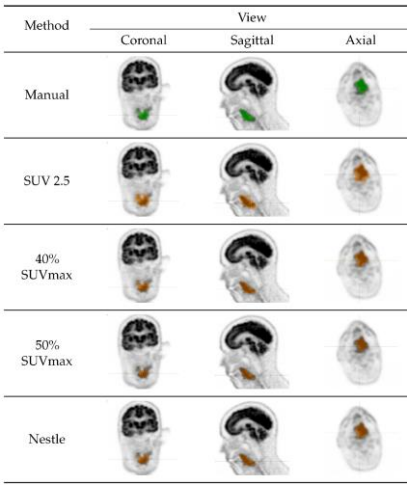


Image credits: F. Bianconi et al., Sensors, 2023 CC BY 4.0.

Estrazione delle feature

- **Intensità**
  - Media, deviazione standard,…
- **Istogramma**
  - Entropia, uniformità,…
- **Texture**
  - Matrici di co-occorrenza, LBP,…
- **Forma**
  - Sfericità, allungamento,…

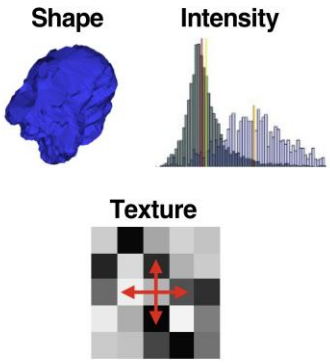


Image credits A. Chaddad et al., Sensors, 2023 CC BY 4.0.

Post-processamento

Può consistere in:

- **Selezione** e/o
- **Combinazione** delle feature

Obiettivi:

- Aumento della **capacità predittiva**
- Riduzione della **dimensionalità**
- Eliminazione feature **ridondanti**
- **Semplificazione** dei modelli

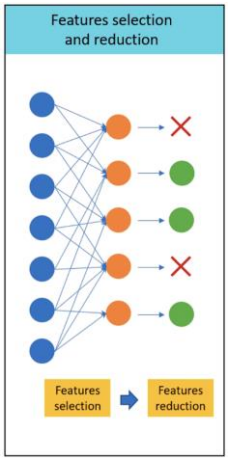


Image credits: Y.-J. Wu et al., Diagnostics, 2022 CC BY 4.0.

Costruzione del modello (I)

Classificazione

- L'endpoint di riferimento è una variabile **categorica**—e.g.:
  - Benigno vs. maligno
  - Primario vs. metastatico
  - Sottotipo istologico
- Tipicamente utilizzata in analisi di tipo **sezionale**

Regressione

- L'endpoint di riferimento è una variabile **numerica**—e.g.:
  - Sopravvivenza (OS, DFS,…)
  - Dosaggio
- Comunemente utilizzata in analisi tipo **longitudinale** (predizioni in funzione del tempo)

Costruzione del modello (II)

- **Addestramento**
  - Si presenta al classificatore o al regressore un insieme di **casi etichettati (**feature + valore dell'endpoint di riferimento)
- **Predizione**
  - Si interroga il modello su un caso sconosciuto (si presentano le feature)
  - Il modello effettua una predizione:
    - Etichetta di classe o probabilità (e.g. benigno vs. maligno) → **classificazione**
    - Valore di una grandezza (e.g. OS, DFS,…) → **regressione**

Strumenti per la radiomica (1)

LIFEx – Local Image Feature Extraction

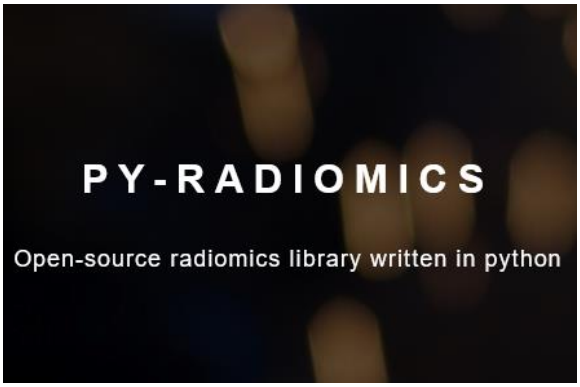
- **Tipologia**: applicazione stand-alone con interfaccia grafica
- **Funzionalità**:
  - Preprocessamento immagini
  - Segmentazione manuale, semi-automatica e automatica
  - Calcolo feature radiomiche
    - Convenzionali
- **Termini d'uso**: free (non open-source) per utilizzo non commerciale (licenza proprietaria)

https://www.lifexsoft.org

Pyradiomics

- **Tipologia**: libreria di funzioni (Python)
  - Possibilità di interfaccia grafica tramite 3D Slicer
- **Funzionalità**:
  - Preprocessamento immagini
  - Calcolo feature radiomiche
    - Convenzionali
- **Termini d'uso**: freeware, open source (BSD-3-Clause)

https://pyradiomics.readthedocs.io/en/latest/index.html

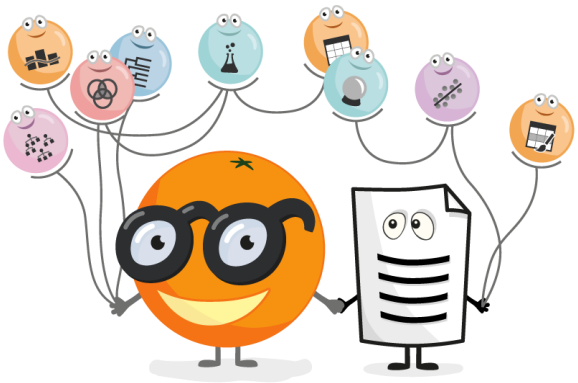


Strumenti per la radiomica (2)

Orange data mining

- **Tipologia**: ambiente visuale basato su interfaccia drag-and-drop
- **Funzionalità**:
  - Selezione/combinazione feature
  - Classificazione
  - Regressione
  - Visualizzazione dati
- **Termini d'uso**: free, non open-source (GPLv3)

https://orangedatamining.com/



Weka

- **Tipologia**: ambiente visuale basato su interfaccia drag-and-drop
- **Funzionalità**:
  - Selezione/combinazione feature
  - Classificazione
  - Regressione
  - Visualizzazione dati
- **Termini d'uso**: free, open-source (GPLv3)

https://ml.cms.waikato.ac.nz/weka/

WEKA

The workbench for machine learning

Python

- **Tipologia**: librerie di funzioni per Python
- **Funzionalità**:
  - Selezione/combinazione feature
  - Classificazione
  - Regressione
  - Visualizzazione dati
- **Termini d'uso**: free per uso commerciale e non, open-source (PSFL, licenze specifiche per singolo pacchetto)

https://www.python.org/

python

scikit learn

matplotlib

pandas

NumPy

Limitazioni ed ostacoli

Limitazioni ed ostacoli

Aspetti tecnici

- **Disponibilità di dati**
  - Idealmente prospettici, multi-centro e ad accesso libero
- **Problemi etici**
  - Accesso e condivisione dei dati

Aspetti regolatori

- **Rispetto regolamentazioni su dispositivi medici (MDR)**
- **Riproducibilità e standardizzazione**

Interazione uomo-macchina

- **Interpretabilità dei risultati**
  - Problema del 'black box'
- **Interazione uomo/macchina**
  - Propensione ad avvalersi dei risultati forniti dalla macchina

Image credits: S. Busnatu et al., Journal of Clinical medicine 2022 CC BY 4.0.

Conclusioni

Conclusioni

- **IA e radiomica offrono prospettive interessanti per la medicina personalizzata e di precisione**
- **Gap tra ricerca ed applicazioni cliniche**
- **Problemi da risolvere**
  - Disponibilità dei dati
  - Standardizzazione delle procedure e aspetti regolatori
  - Interazione uomo-macchina