



# AI & RADIOMICA IN MEDICINA NUCLEARE: LUCI ED OMBRE

Roma, Centro studi il Cardello  
17 dicembre 2024

**IA e radiomica: uno sguardo d'insieme su strumenti e metodi**

**Francesco Bianconi<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Perugia



# Sommario

- **Introduzione e background**
- **Metodi**
- **Strumenti**
  - Pre-processamento, segmentazione, estrazione delle caratteristiche
  - Analisi dei dati, costruzione modelli predittivi
- **Limitazioni ed ostacoli**
- **Conclusioni**



# Introduzione e background

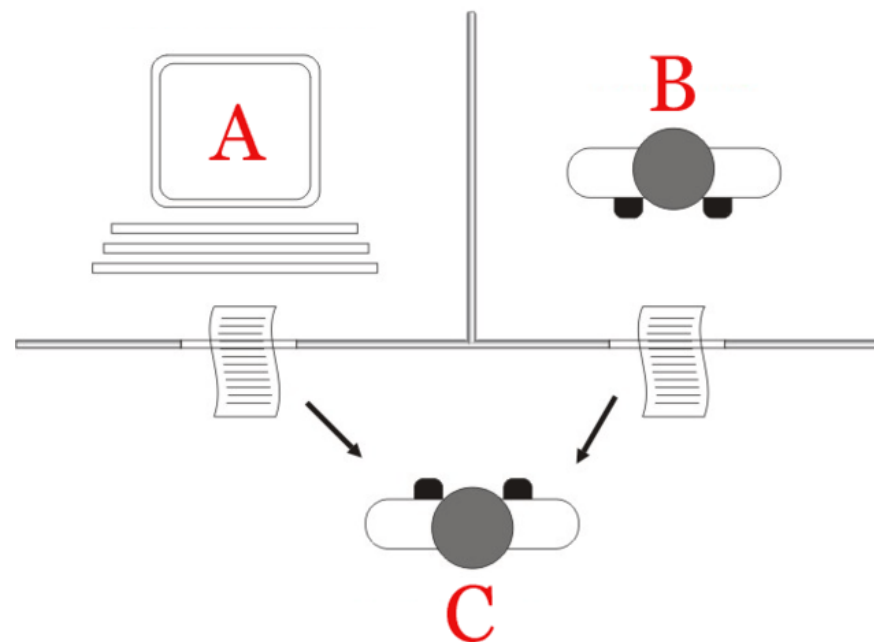


# Intelligenza artificiale: definizione

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

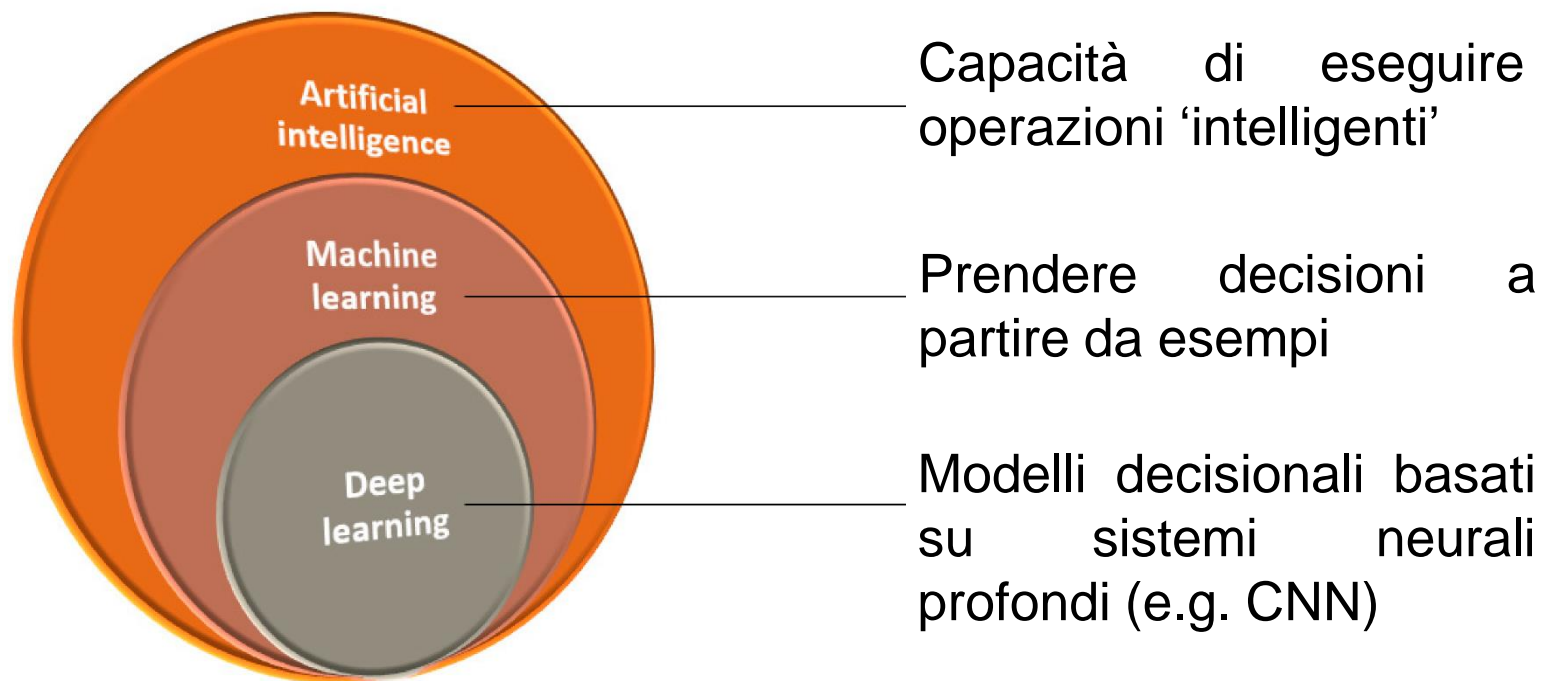
## Intelligenza artificiale: il test di Turing '*Imitation game*' (1949)

- 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**

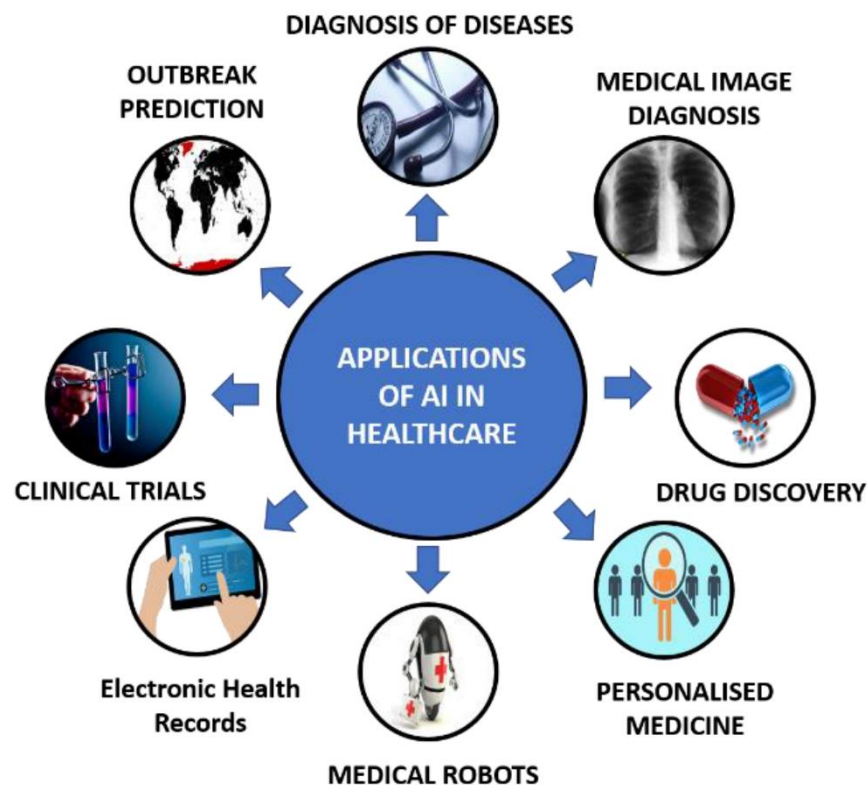


Credits: J.A. Sánchez Margallo via [Wikimedia Commons](#). [CC BY 2.5](#).

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



# Intelligenza artificiale: applicazioni in ambito medico



Da [S. Pandya et al.](#), Sensors, 2021 [CC BY 4.0](#).



# 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*)





## 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-)
  
- **Pianificazione del follow-up**

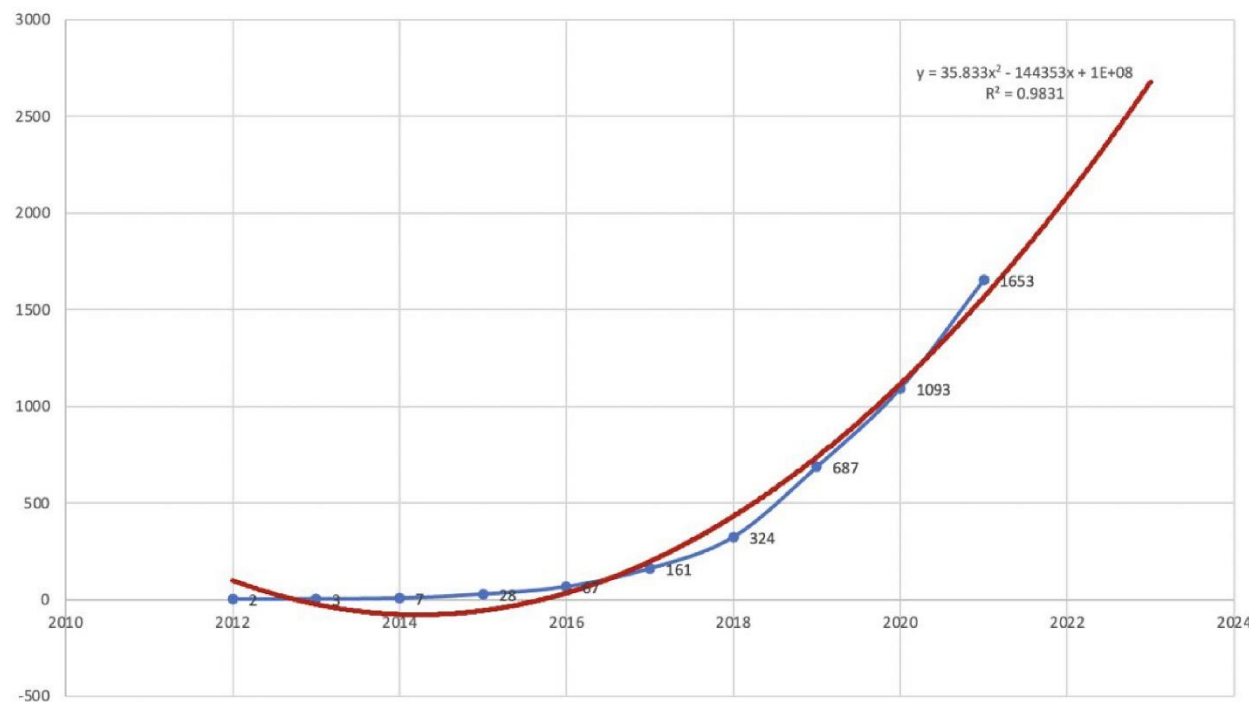


## Potenziali vantaggi della radiomica

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

# Radiomica: trend dei lavori pubblicati

L'analisi bibliometrica mostra una crescita esponenziale dei lavori scientifici a livello mondiale



Dati relativi al periodo ott. 2012—ott. 2022 (blu) + estrapolazione

Da [Zhang et al.](#), Technol. Cancer Res. Treat., 2024. [CC BY-NC 4.0](#)



# Radiomica: contributi scientifici per nazione

Country	Articles	SCP	MCP	Freq	MCP_Ratio	TC	Average article citations
CHINA	2871	2468	403	0.447	0.14	32127	11.19
USA	1070	703	367	0.166	0.343	35205	32.90
ITALY	508	386	122	0.079	0.24	6233	12.27
GERMANY	258	164	94	0.04	0.364	4944	19.16
KOREA	239	221	18	0.037	0.075	4195	17.55
FRANCE	210	149	61	0.033	0.29	5036	23.98
NETHERLANDS	188	88	100	0.029	0.532	10852	57.72
CANADA	156	86	70	0.024	0.449	3673	23.54
UNITED KINGDOM	140	69	71	0.022	0.507	2476	17.69
JAPAN	119	110	9	0.019	0.076	1168	9.82

Dati relativi al periodo ott. 2012—ott. 2022

Da [Zhang et al.](#), Technol. Cancer Res. Treat., 2024. [CC BY-NC 4.0](#)

SCP=Single-country publications, MCP=Multiple-country publications, Freq=% of the total



# Radiomica: contributi scientifici per rivista

Rank	Journal title	Country	Counts	IF(2021)	JCR	H-index	Total citations
1	FRONTIERS IN ONCOLOGY	Switzerland	596	5.738	Q2	26	3891
2	EUROPEAN RADIOLOGY	Germany	391	7.034	Q1	47	7550
3	CANCERS	Switzerland	271	6.575	Q2	18	1513
4	SCIENTIFIC REPORTS	ENGLAND	254	4.996	Q1	45	7396
5	JOURNAL OF MAGNETIC RESONANCE IMAGING	United States	150	5.119	Q1	33	3202
6	MEDICAL PHYSICS	United States	146	4.506	Q1	28	2647
7	EUROPEAN JOURNAL OF RADIOLOGY	Netherlands	145	4.531	Q1	28	2386
8	DIAGNOSTICS	Poland	132	3.992	Q4	15	654
9	ABDOMINAL RADIOLOGY	United States	130	2.886	Q2	21	1349
10	ACADEMIC RADIOLOGY	United States	91	5.482	Q1	20	1142

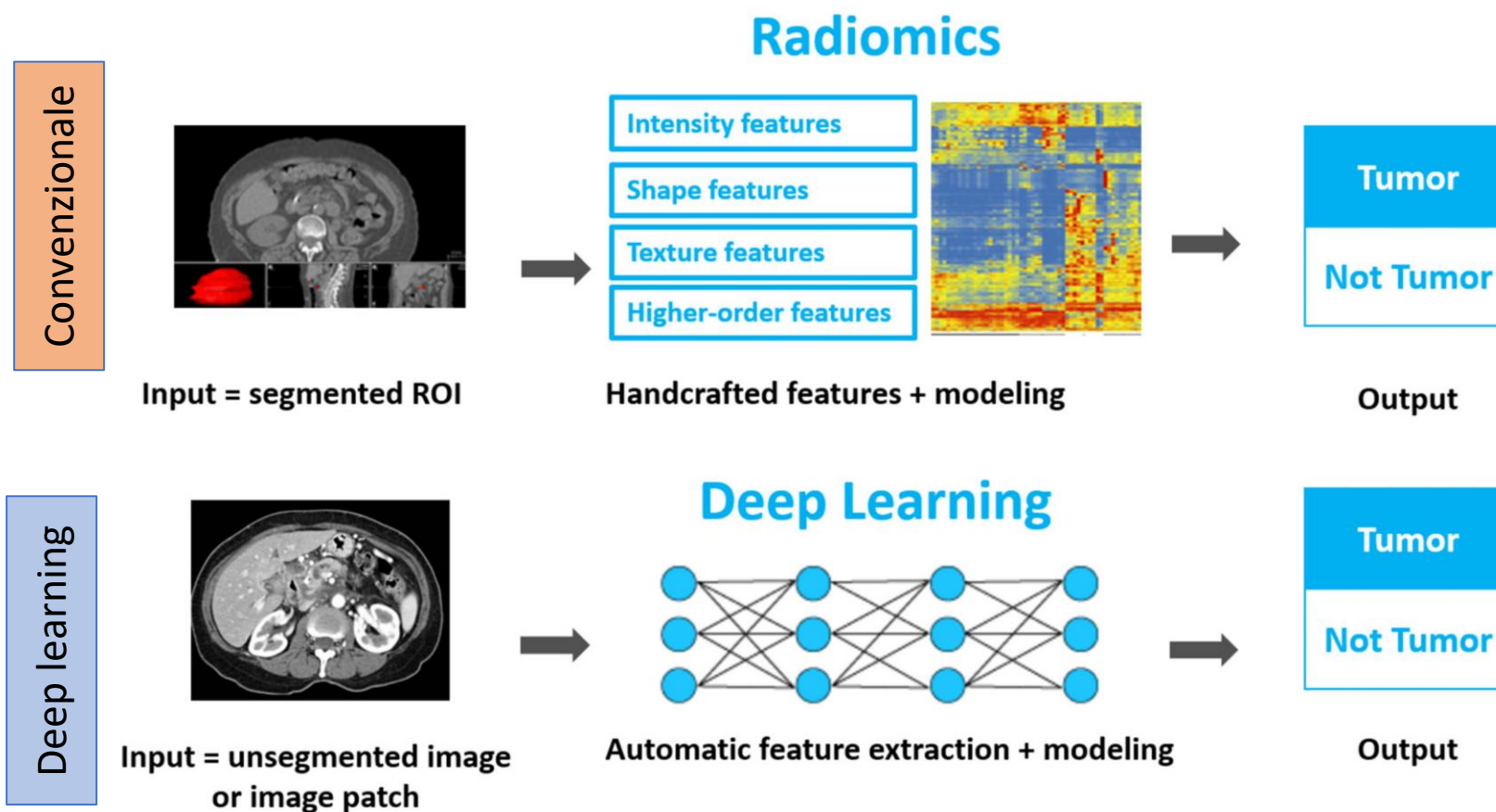
Dati relativi al periodo ott. 2012—ott. 2022

Da [Zhang et al.](#), Technol. Cancer Res. Treat., 2024. [CC BY-NC 4.0](#)



# Metodi

# Radiomica: 'convenzionale' vs. Deep Learning (I)





## Radiomica: 'convenzionale' vs. Deep Learning (II)

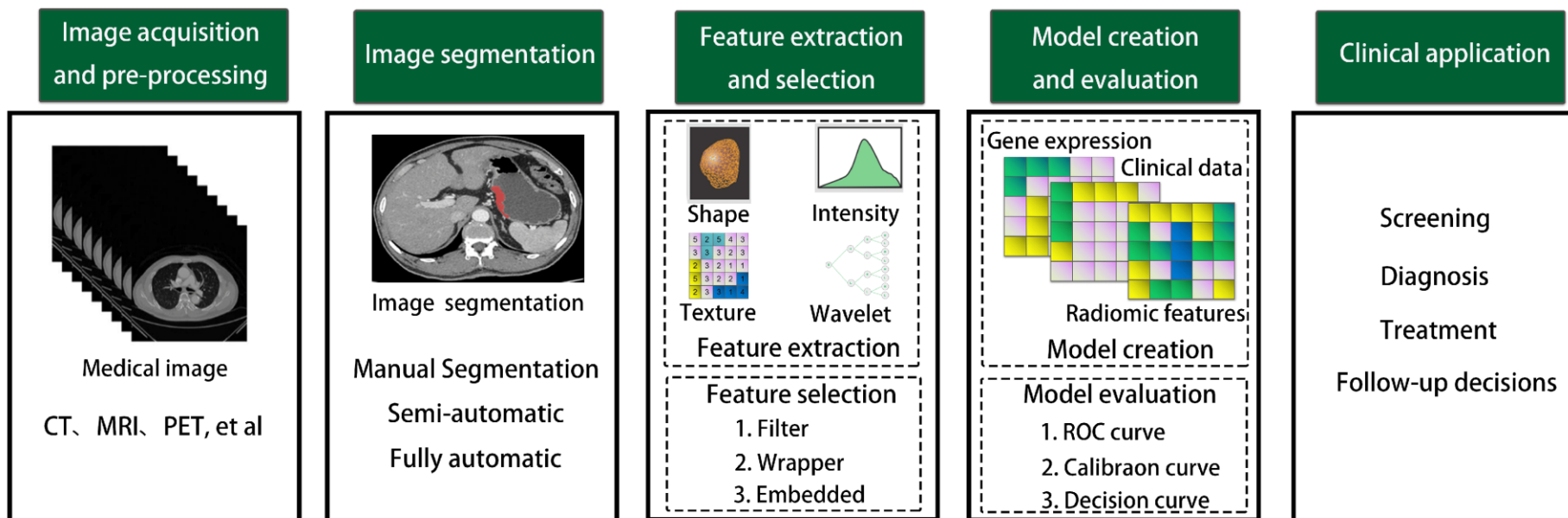
### Convenzionale

- › **Richiede segmentazione** della ROI
- › Feature definite a priori ('hand-crafted')
- › **Possibile interpretazione** delle features in termini fisico-biologici

### Deep Learning

- › **Segmentazione** della ROI **non necessaria** (ma possibile!)
- › Feature basate su reti **pre-addestrate** (data-driven)
- › **Difficile interpretazione** delle features in termini fisico-biologici (approccio 'black-box')

# Radiomica convenzionale: le fasi del processo

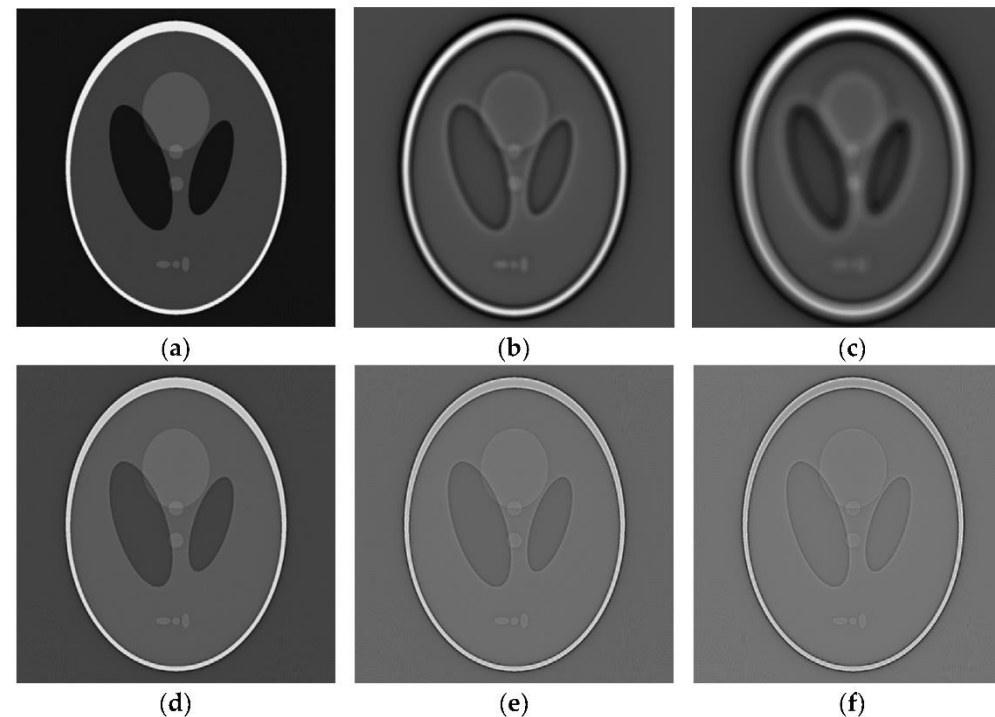


Da [W. Zhang et al.](#), Symmetry, 2023 [CC BY 4.0](#).

# 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**



Da [Y. Jiang et al.](#), Mathematics, 2022 [CC BY 4.0](#).



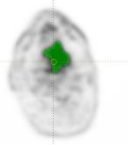

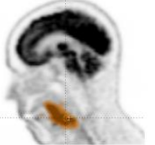
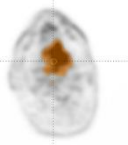


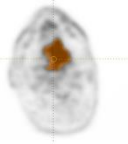

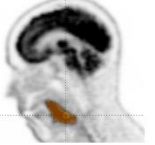
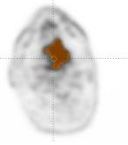

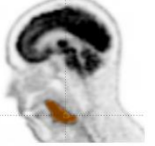
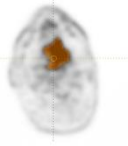
# Segmentazione

Consiste in:

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

Può essere:

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

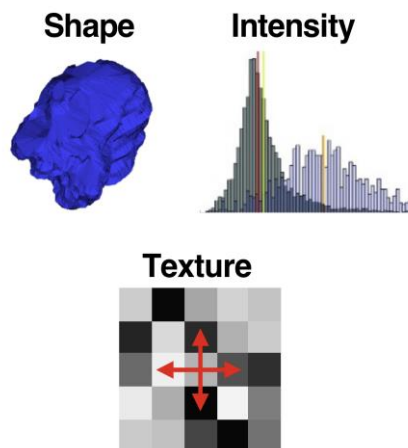
Method	View		
	Coronal	Sagittal	Axial
Manual			
SUV 2.5			
40% SUVmax			
50% SUVmax			
Nestle			

Da [F. Bianconi et al.](#), Sensors, 2023 [CC BY 4.0](#).

# Estrazione delle feature

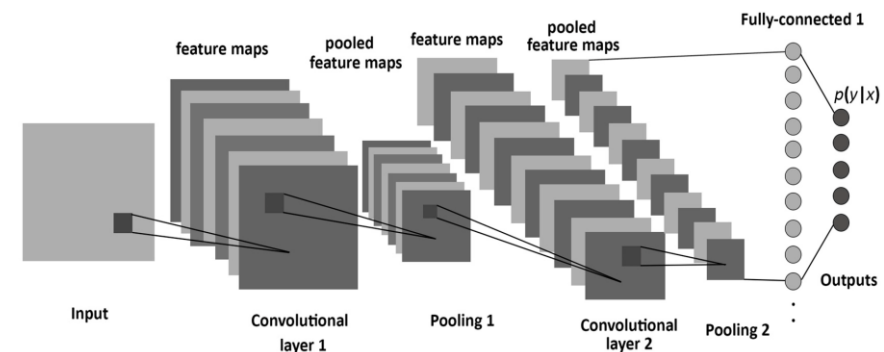
Feature radiomiche convenzionali:

- **Intensità, istogramma**
- **Texture**
- **Forma**



Feature basate su deep learning:

- **Convolutional networks (CNN)**



Da [S. Albelwi e A. Mahmood](#), Entropy, 2017 [CC BY 4.0](#).

Adattato da [A. Chaddad et al.](#), Sensors, 2023 [CC BY 4.0](#).

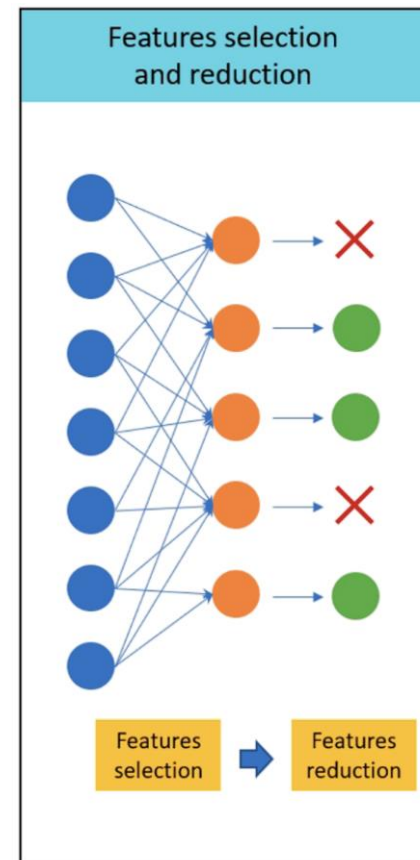
# Post-processamento delle feature

Può consistere in:

- **Selezione delle feature**
- **Combinazione delle feature**

Obiettivi:

- **Aumento della capacità predittiva**
- **Riduzione della dimensionalità**
- **Semplificazione dei modelli**

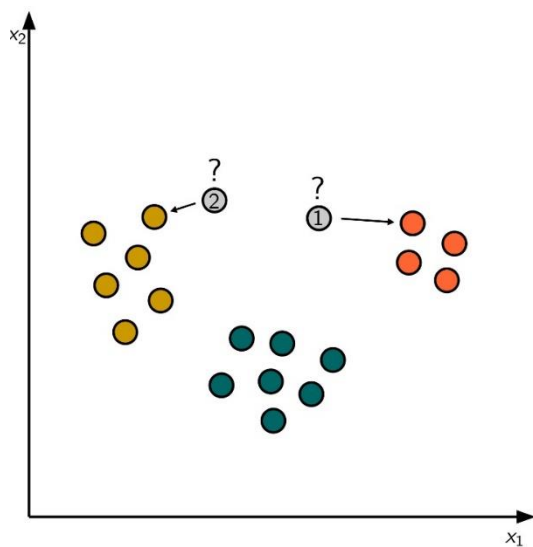


# Analisi dei dati (I)

Obiettivo: costruzione di modelli predittivi

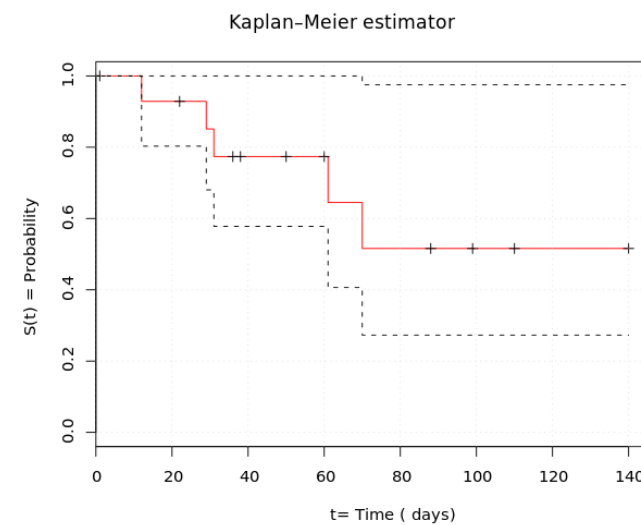
## Classificazione

E.g. benigno vs. maligno



## Regressione

E.g. stima della sopravvivenza





## Analisi dei dati (II)

Comprende due fasi:

- **Costruzione del modello** (*addestramento*)
  - Si presenta al classificatore e/o regressore un insieme di casi (esempi) etichettati (e.g., feature + etichetta di classe)
  
- **Predizione** (classificazione/regressione)
  - Si interroga il modello su un caso specifico (si presentano le feature)
  - Il modello effettua una predizione (etichetta di classe, probabilità, etc.)





# Strumenti



# Strumenti

Pre-processamento, segmentazione, estrazione feature

## 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](#))



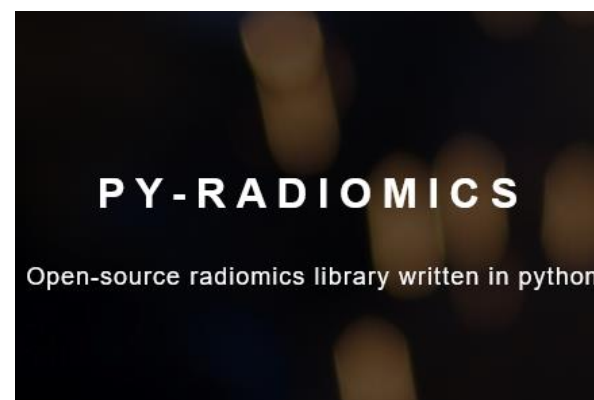
<https://www.lifexsoft.org>



## 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

Costruzione modelli predittivi



# Python

With Pandas, NumPy, scikit-learn and Matplotlib

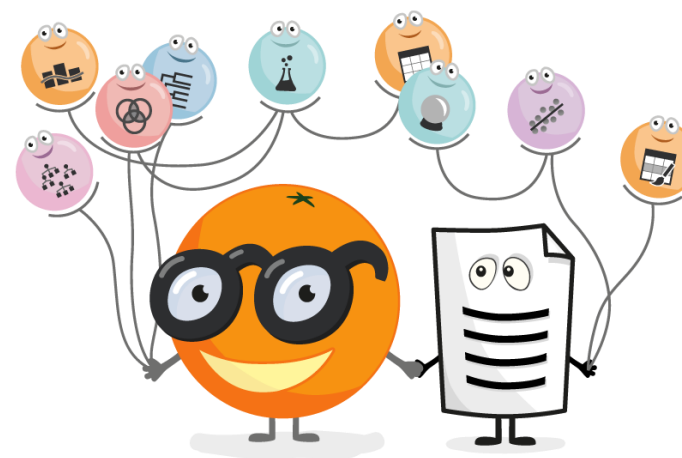
- › **Tipologia:** librerie di funzioni per Python
- › **Funzionalità:**
  - › Selezione/combinazione feature
  - › Classificazione
  - › Regressione
  - › Visualizzazione dati
- › **Termini d'uso:** free per uso commerciale e non, open-source (PSFL, licenze specifiche per singolo pacchetto)



<https://www.python.org/>

## 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

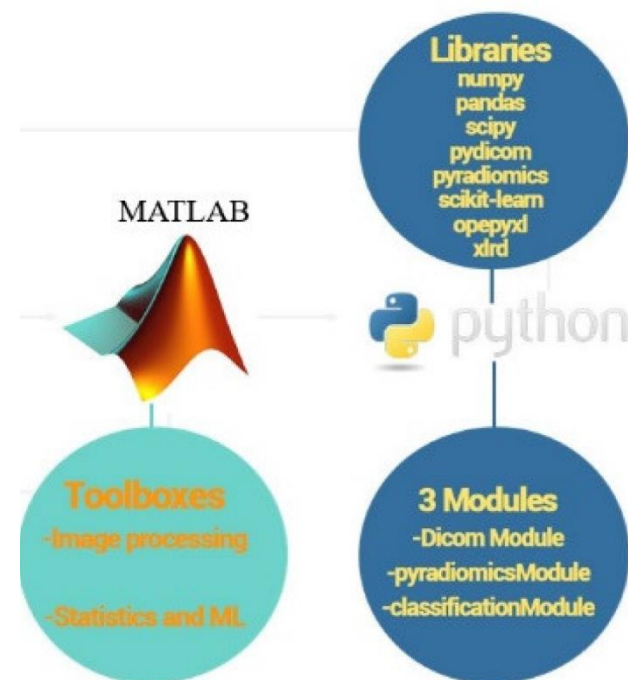




# Strumenti integrati

# matRadiomics

- › **Tipologia:** ambiente con interfaccia grafica
  - › Backend: Matlab & pyradiomics
- › **Funzionalità:**
  - › Segmentazione
  - › Calcolo delle feature
  - › Selezione, combinazione e armonizzazione
  - › Classificazione
  - › Regressione
  - › Visualizzazione dati
- › **Termini d'uso:** open-source (licenza sconosciuta)



<https://www.ibfm.cnr.it/matradiomics/?lang=en>



## Limitazioni ed ostacoli

# Radiomica: limitazioni ed ostacoli

- **Disponibilità di dati**
  - Idealmente prospettici, multi-centro e ad accesso libero
- **Problemi etici**
  - Accesso e condivisione dei dati
- **Rispetto regolamentazioni su dispositivi medici (MDR)**
- **Riproducibilità e standardizzazione**
  - IBSI
- **Interpretabilità dei risultati**
  - Problema del 'black box'
- **Interazione uomo/macchina**
  - Propensione ad avvalersi dei risultati forniti dalla macchina



Adattato da [S. Busnatu et al.](#),  
Journal of Clinical medicine 2022 [CC BY 4.0](#).



# Conclusioni



## Conclusioni

- **La radiomica offre prospettive interessanti per la medicina personalizzata e di precisione**
  - Metodica non invasiva basata su dati quantitativi
- **Gap tra ricerca ed applicazioni cliniche**
- **Problemi da risolvere**
  - Disponibilità dei dati
  - Standardizzazione delle procedure
  - Interazione uomo-macchina