



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PALERMO



Formati delle immagini mediche

Corso di «Strumentazione Diagnostica per Immagini»
a.a. 2021 – 2022

Prof. Roberto Pirrone

Sommario

- Formato DICOM
 - Generalità
 - Storia
 - Modello dell'informazione
 - Modello dei dati
 - Modello della comunicazione
- Sistemi PACS, RIS, HIS
- Formato NIFTI

Formato DICOM

- DICOM (*Digital Imaging and COmmunications in Medicine*, immagini e comunicazione digitali in medicina) è uno standard che definisce i criteri per la comunicazione, la visualizzazione, l'archiviazione e la stampa di informazioni di tipo biomedico quali ad esempio immagini radiologiche (*Fonte: Wikipedia*)
- Lo standard è suddiviso in 18 parti che specificano i diversi aspetti relativi al formato dei dati, alla gestione dei media di storage, alla visualizzazione e così via e si estendono fino alla definizione dei servizi DICOM come Web services RESTful

Formato DICOM

- Pubblico
- Consente una semplice ed efficace integrazione tra modalità diagnostiche, dispositivi/workstation di visualizzazione, server PACS (*Picture Archiving and Communication System*)
- E' sia un formato dati sia un protocollo applicativo che usa TCP/IP come infrastruttura di rete
- Non specifica nulla circa l'architettura per implementare lo standard

Formato DICOM

- Storia
 - Sviluppato da ACR (*American College of Radiology*) e NEMA (*National Electric Manufacturers Association*)
 - 1983: ACR e NEMA formano un comitato congiunto
 - 1985: ACR-NEMA 300 – «Digital Imaging and Communications» prima versione dello standard
 - 1988: ACR/NEMA V2.0
 - 1993: DICOM 3.0

Formato DICOM

- Modello dell'informazione
 - Lo standard DICOM si ispira alla *Object Oriented Programming* (OOP) per cui ogni elemento del mondo reale (il paziente, la modalità diagnostica, una immagine, etc.) è un oggetto
 - La gestione di tali *oggetti* è deputata ad una serie di *servizi*

Formato DICOM

- Modello dell'informazione
 - La coppia di un oggetto e di un servizio è detta *Service Object Pair* (SOP)
 - Una *SOP Class* fa riferimento a tutti i SOP definiti per un certo oggetto DICOM

Formato DICOM

- Modello dell'informazione
 - SOP Classes principali
 - VERIFICATION: Servizio che consente ad un dispositivo DICOM di verificare lo stato di connessione (e di funzionamento) di un altro dispositivo connesso alla rete
 - STORE: Questo servizio viene utilizzato per inviare immagini o altri oggetti persistenti (report strutturati, ecc) ad un PACS o ad una workstation.
 - STORAGE COMMITMENT: Il servizio di storage commitment viene utilizzato per confermare l'effettiva memorizzazione permanente di un'immagine su un dispositivo (sia su dischi RAID o su supporti di backup, ad esempio, masterizzazione su un CD).
 - QUERY/RETRIEVE: Consente ad una stazione di lavoro di trovare gli elenchi di immagini o altri oggetti e poi recuperarli da un PACS.

Formato DICOM

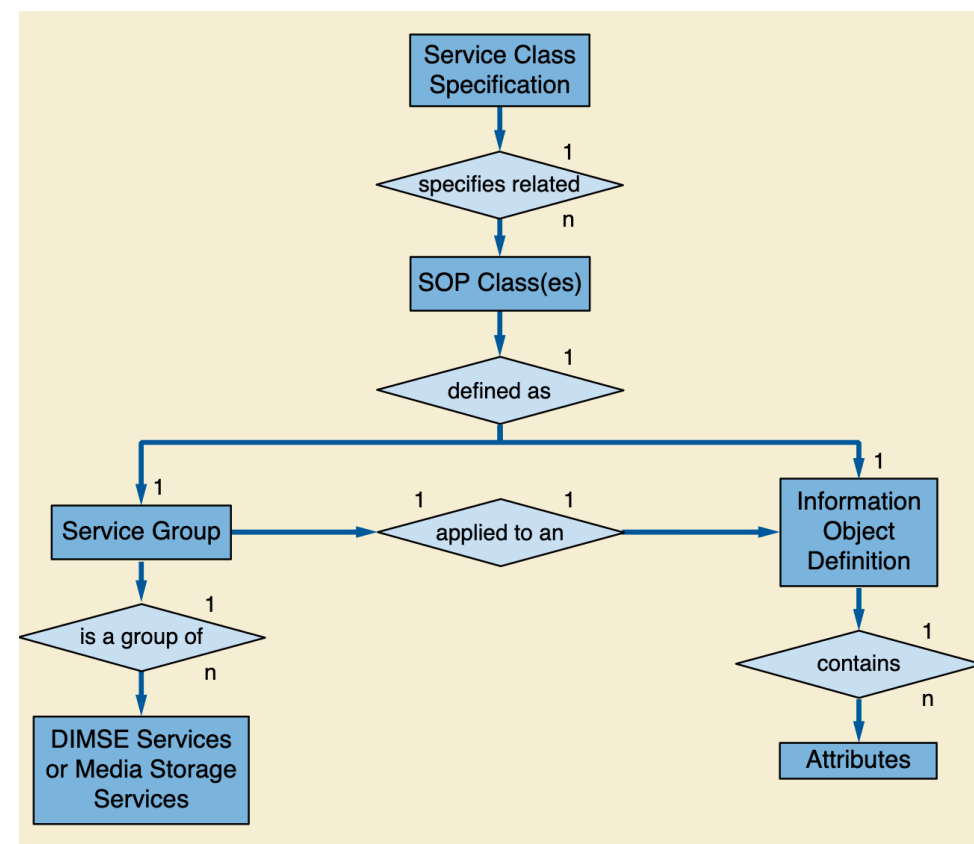
- Modello dell'informazione
 - SOP Classes principali
 - MODALITY WORKLIST: Consente ad una modalità di ottenere i dettagli dei pazienti e la worklist degli esami, per esempio prelevandoli da un *Radiology Information System* (RIS)
 - MODALITY PERFORMED PROCEDURE STEP (MPPS): È un servizio complementare alla Modality Worklist, questa modalità consente di inviare un report di un esame effettuato inclusi i dati sulle immagini acquisite, ora di inizio, ora di fine, e la durata di uno studio, dose somministrata (utile per fornire informazioni al reparto sulla gestione delle risorse)

Formato DICOM

- Modello dell'informazione
 - SOP Classes principali
 - PRINTING: Il servizio DICOM Print viene utilizzato per inviare le immagini ad una stampante DICOM, di solito per stampare una lastra radiografica. Esiste una calibrazione standard per tutti i dispositivi di visualizzazione
 - MEDIA STORAGE: gestione della memorizzazione su supporti di storage. Prevede la creazione di un'apposita struttura dati, su file separato, chiamata DICOMDIR che descriva l'organizzazione dei dati sul medium

Formato DICOM

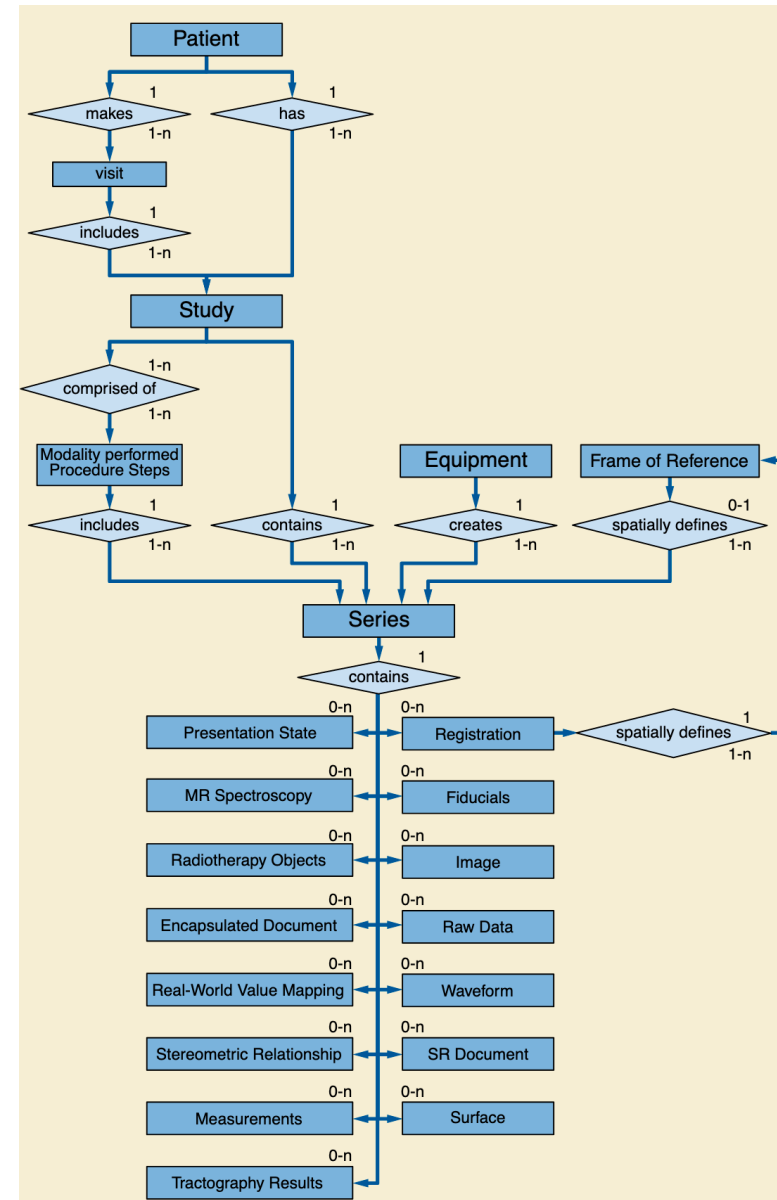
- Modello dell'informazione
 - Lo standard definisce il SOP come l'unione di un *Information Object Definition* (IOD) e un *DICOM Message Service* (DIMSE)



Fonte: DICOM PS3.3 2021b - Information Object Definitions

Formato DICOM

- Modello dell'informazione
 - Un IOD è la specifica astratta di un oggetto del mondo reale mirata a fornire una interfaccia standardizzata alle applicazioni che manipolano le informazioni DICOM
 - Un IOD sarà caratterizzato da diversi attributi che sono logicamente raggruppati in *Information Modules* o anche *Information Object Module* (IOM)

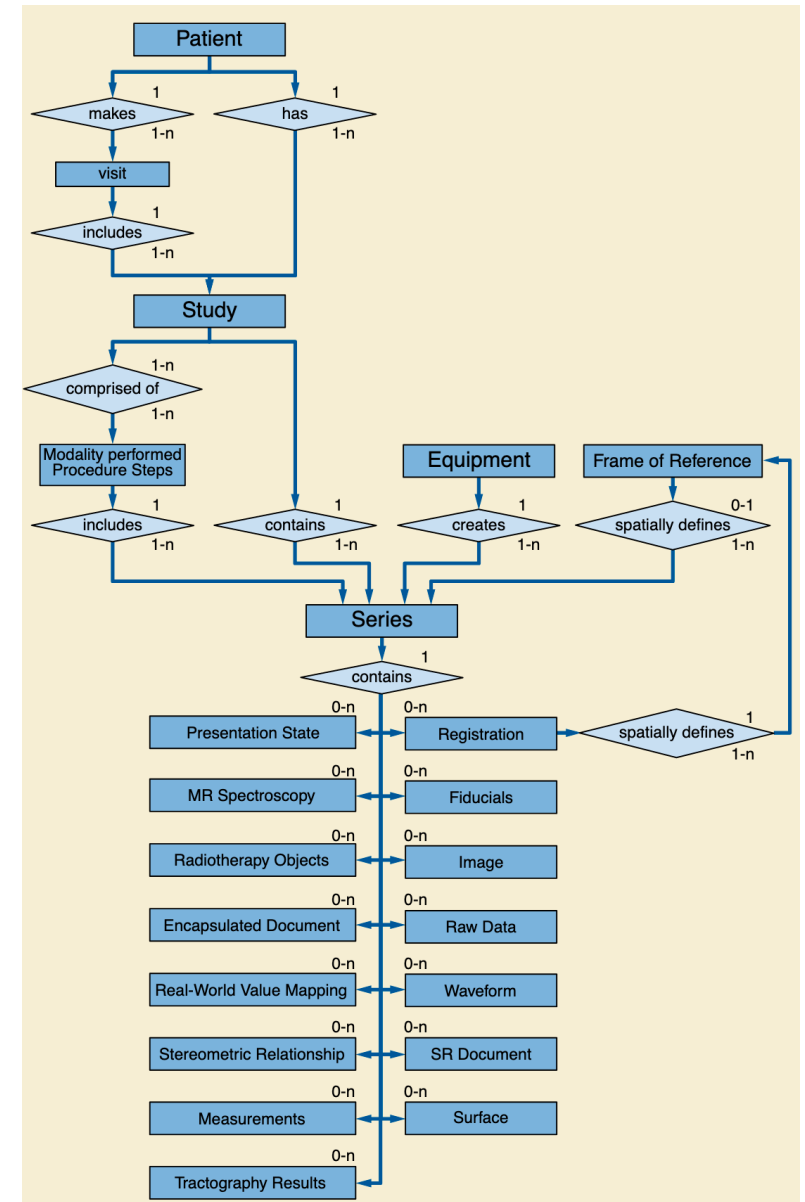


Fonte: DICOM PS3.3 2021b - Information Object Definitions

Formato DICOM

- Modello dell'informazione - principali IOM

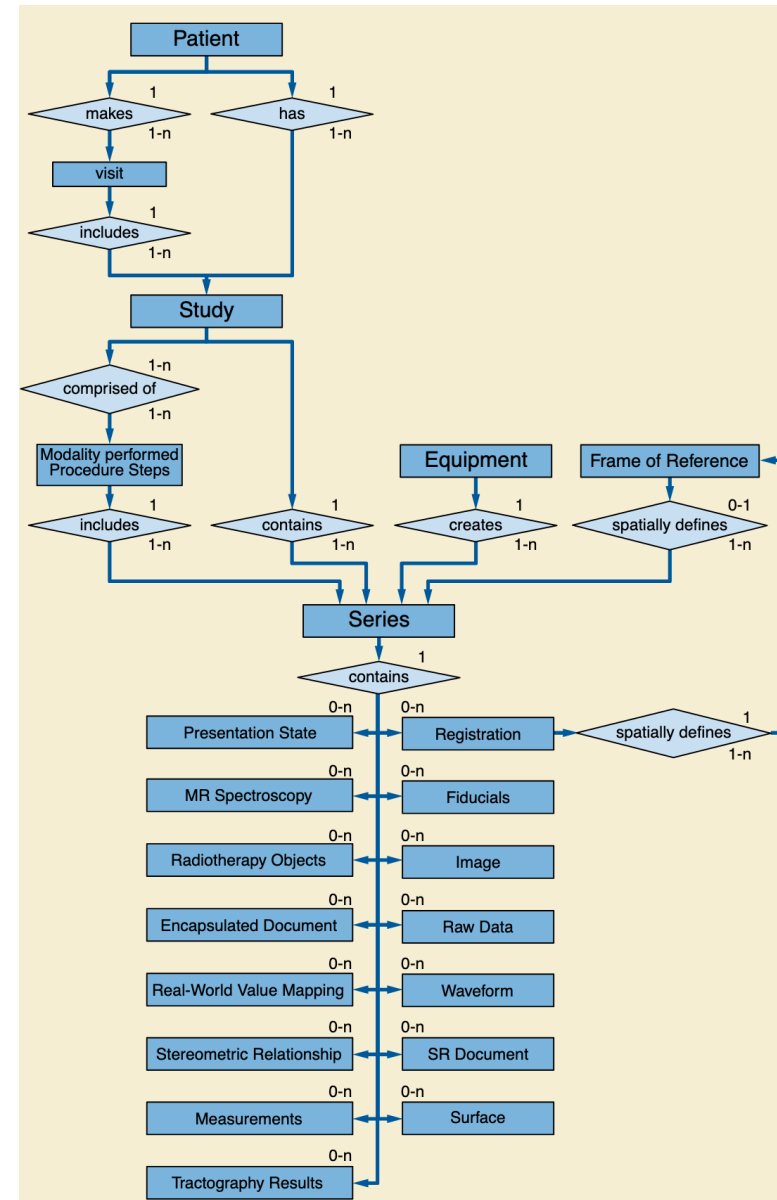
- Patient module
 - Name, ID, Birthdate...
- Study module
 - Date and time, ID, Accession number...
- Series module
 - Date and time, ID, Number of images, ...
- Image module
 - Pixel spacing, pixel location, slice thickness...



Fonte: DICOM PS3.3 2021b - Information Object Definitions

Formato DICOM

- Modello dell'informazione
 - IOD composti: raggruppano al loro interno diverse entità correlate appartenenti al modello del mondo reale
 - IOD normalizzati: fanno riferimento a singole entità del modello del mondo reale



Fonte: DICOM PS3.3 2021b - Information Object Definitions

Formato DICOM

- Modello dell'informazione
 - Ogni oggetto DICOM è caratterizzato da un *Unique ID* (UID)
 - La struttura di un UID è basata sulla forma numerica dello standard OSI Object Identification (ISO 8824)
 - Ogni UID si compone di due parti, una radice (riferita alla specifica organizzazione/azienda produttrice) e un suffisso:

UID = <radice><suffisso>

Formato DICOM

- Modello dell'informazione

<radice>=1.2.840.xxxxx		<uffisso>=3.152.235.2.12.187636473	
1: ISO		3: tipo di apparecchiatura	
2: ANSI		152: numero di serie dell'apparecchiatura	
840: codice ANSI per gli U.S.A.		235: studio	
xxxxx: codice ANSI fornito all'organizzazione/azienda		2: serie	
		12: immagine	
		187636473: codifica per data e ora di acquisizione	

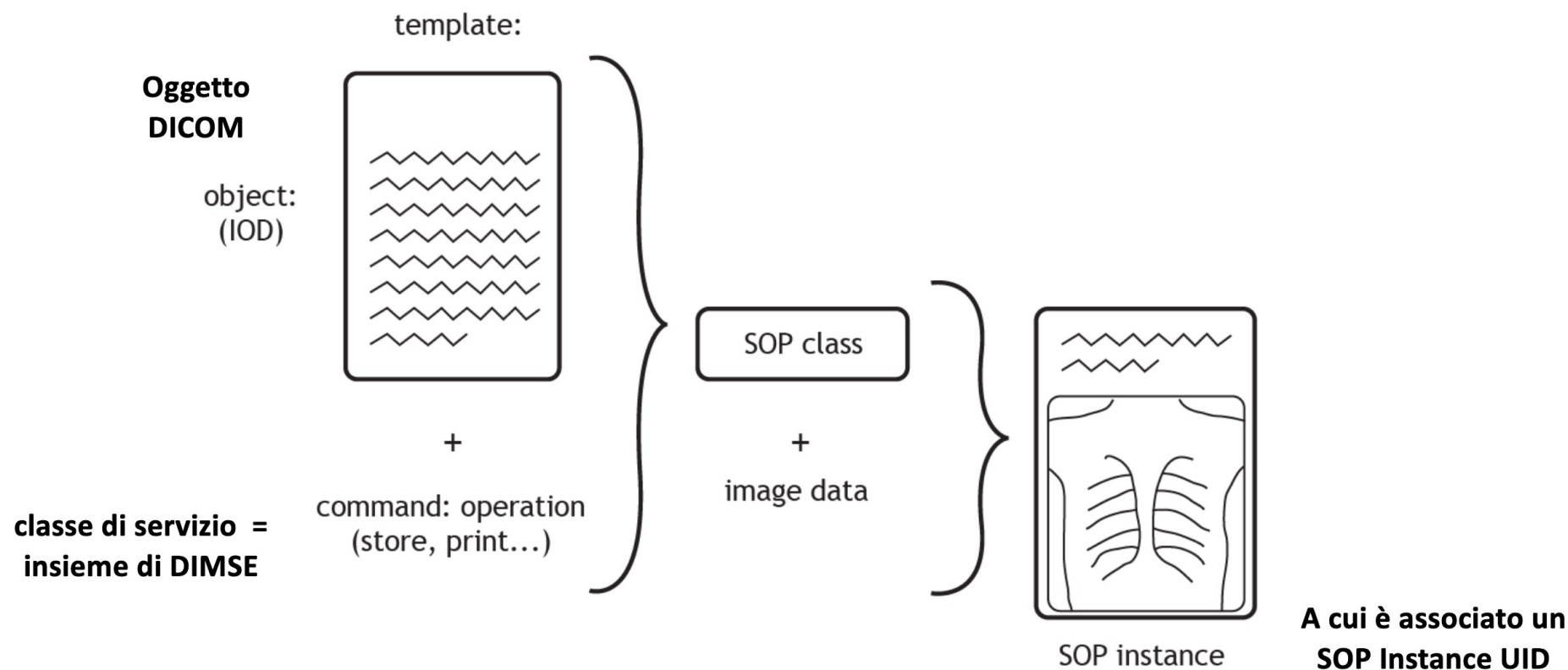
Fonte: https://moodle2.units.it/pluginfile.php/282426/mod_resource/content/1/TRM-08-DICOM.pdf

Formato DICOM

- Modello dell'informazione
 - Un DIMSE specifica un'operazione che può essere effettuata sull'oggetto DICOM
 - Anche i DIMSE sono compositi (DIMSE-C) o normalizzati (DIMSE-N) a seconda del tipo di IOD manipolato
 - Un insieme di DIMSE compongono un servizio che, unito a un particolare IOD, crea un'istanza di una SOP Class sui dati immagine su cui agisce

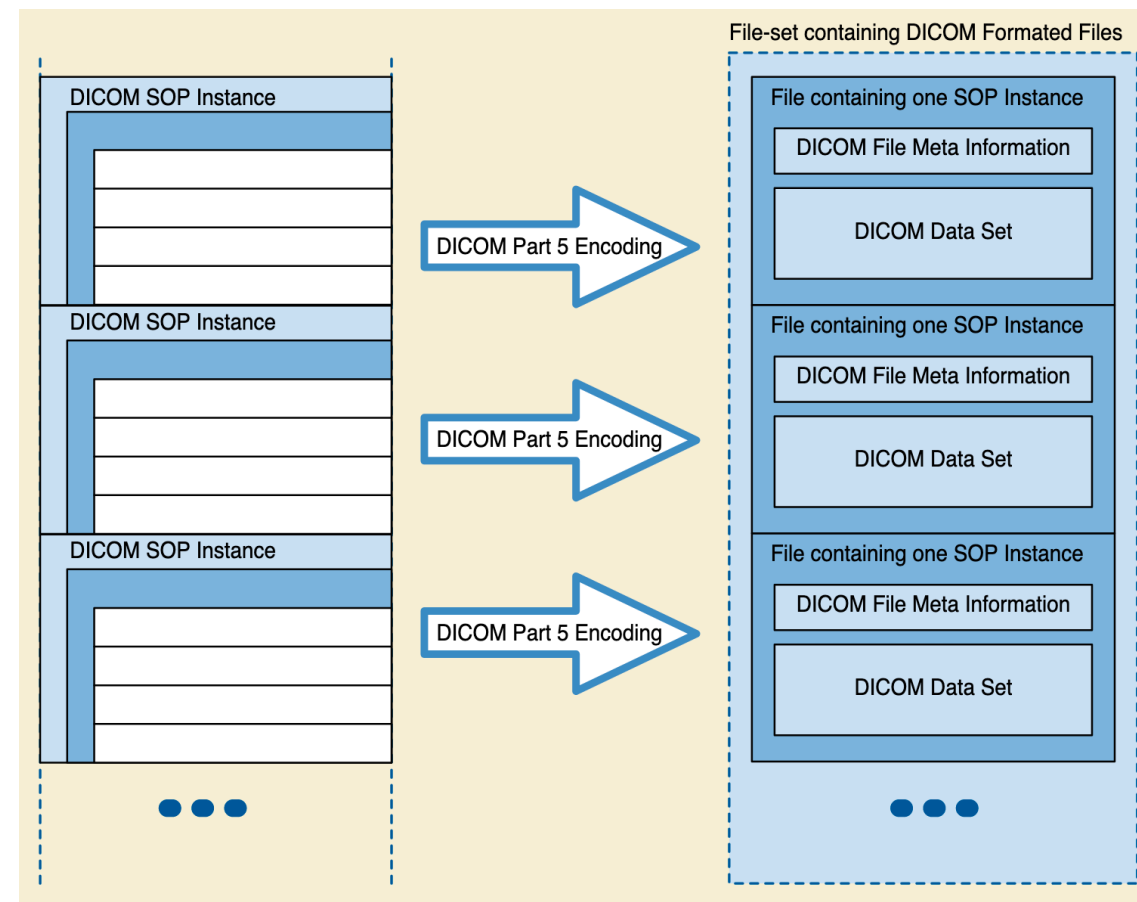
Formato DICOM

- Modello dell'informazione – Esempio di SOP Class e SOP instance



Formato DICOM

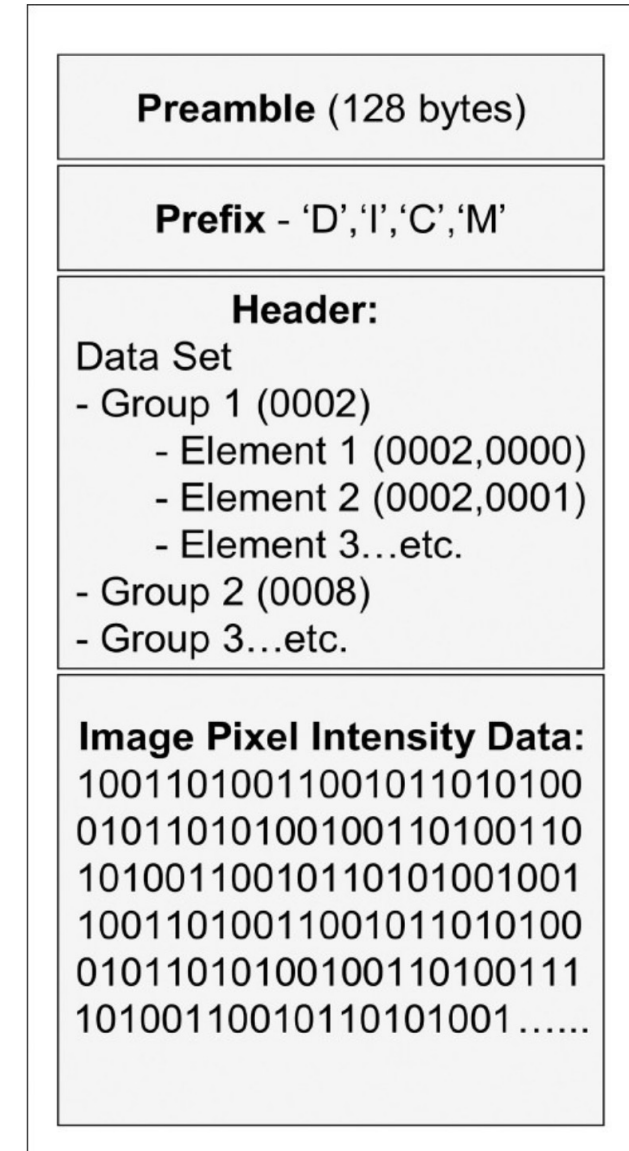
- Modello dei dati
 - Le singole istanze di classi SOP vengono memorizzate su file distinti
 - Ogni file è strutturato in una intestazione, contenente meta-informazione, e in un *data set*
 - Ogni data set è una sequenza di *data element*



Fonte: DICOM PS3.3 2021b - Media Storage and File Format for Media Interchange

Formato DICOM

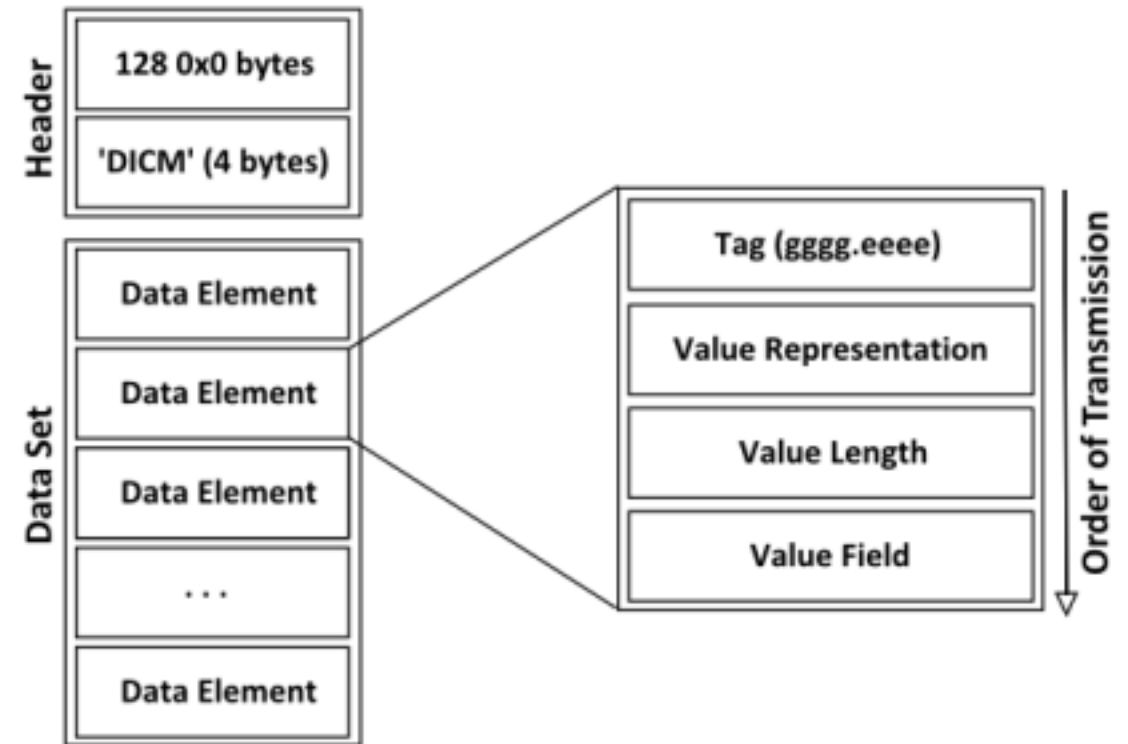
- Modello dei dati
 - Preambolo: predisposto per esigenze applicative
 - Prefisso: stringa «DICM»
 - Header: sequenza di data element (attributi valorizzati degli IOD) raggruppati eventualmente in gruppi
 - Sequenza dei valori dei pixel, in realtà l'ultimo data element



Fonte: <http://europepmc.org/article/PMC/3354356>

Formato DICOM

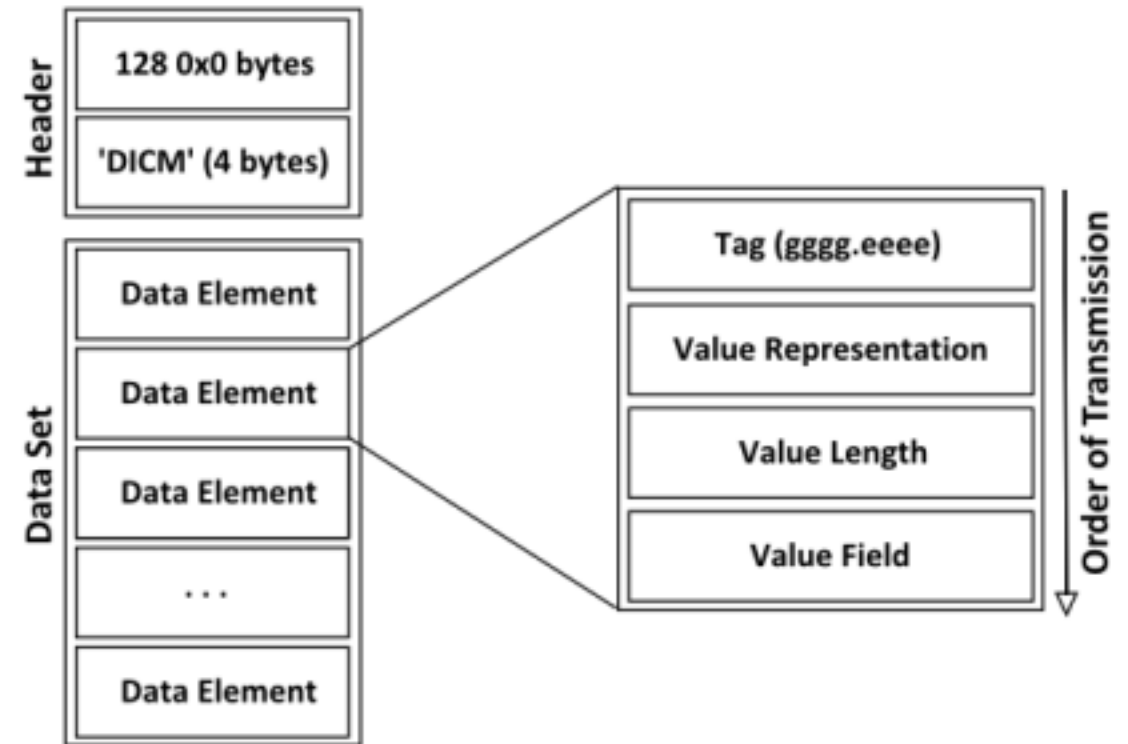
- Modello dei dati
 - Ogni data element è caratterizzato da:
 - Tag: (<gruppo>, <elemento>) in 4 cifre esadecimali ciascuno che indicano le coordinate del dato
 - Value Representation (VR) in 2 byte che indica il tipo di dato: LO → Long String, LT → Long Text, PN → Person Name ...



Fonte: http://199.116.233.101/index.php/DICOM_Structure_and_Interfaces

Formato DICOM

- Modello dei dati
 - Ogni data element è caratterizzato da:
 - Value Length: numero di byte di lunghezza del campo che dev'essere sempre pari secondo lo standard
 - Value Field: l'effettivo valore del dato



Fonte: http://199.116.233.101/index.php/DICOM_Structure_and_Interfaces

Formato DICOM

- Modello dei dati

```
<bound method Dataset.dir of Dataset.file_meta -----
(0002, 0000) File Meta Information Group Length  UL: 202
(0002, 0001) File Meta Information Version       OB: b'\x00\x01'
(0002, 0002) Media Storage SOP Class UID        UI: MR Image Storage
(0002, 0003) Media Storage SOP Instance UID     UI: 1.2.840.113619.2.244.6945.3969092.27569.1380867370.328
(0002, 0010) Transfer Syntax UID               UI: Explicit VR Little Endian
(0002, 0012) Implementation Class UID          UI: 1.2.276.0.7238010.5.0.3.5.4
(0002, 0013) Implementation Version Name       SH: 'OSIRIX'
(0002, 0016) Source Application Entity Title   AE: 'MINI1'
-----
(0008, 0005) Specific Character Set             CS: 'ISO_IR 100'
(0008, 0008) Image Type                        CS: ['ORIGINAL', 'PRIMARY', 'OTHER']
(0008, 0016) SOP Class UID                     UI: MR Image Storage
(0008, 0018) SOP Instance UID                  UI: 1.2.840.113619.2.244.6945.3969092.27569.1380867370.328
(0008, 0020) Study Date                       DA: '20131004'
(0008, 0021) Series Date                      DA: '20131004'
(0008, 0022) Acquisition Date                 DA: '20131004'
(0008, 0023) Content Date                    DA: '20131004'
(0008, 0030) Study Time                      TM: '090434.000000'
(0008, 0031) Series Time                     TM: '090600'
(0008, 0032) Acquisition Time                 TM: '090600'
(0008, 0033) Content Time                    TM: '090600'
```

Formato DICOM

- Modello dei dati
 - DICOM non specifica nulla circa il formato dei dati pittorici
 - In genere si conservano in forma non compressa, ma i DICOM viewer sono in genere compatibili con pixel codificati in JPEG, JPEG Lossless, JPEG 2000 o anche *Run Length Encoding* (RLE)
 - Lo standard definisce anche una apposita funzione di visualizzazione dei livelli di grigio (GSDF) per mostrare le immagini in maniera omogenea sui vari device o per stamparla su lastra

Formato DICOM

- Modello della comunicazione

- I servizi DICOM si implementano attraverso comunicazione definita su stack TCP/IP con paradigma client/server (porta 104 TCP e UDP)



Formato DICOM

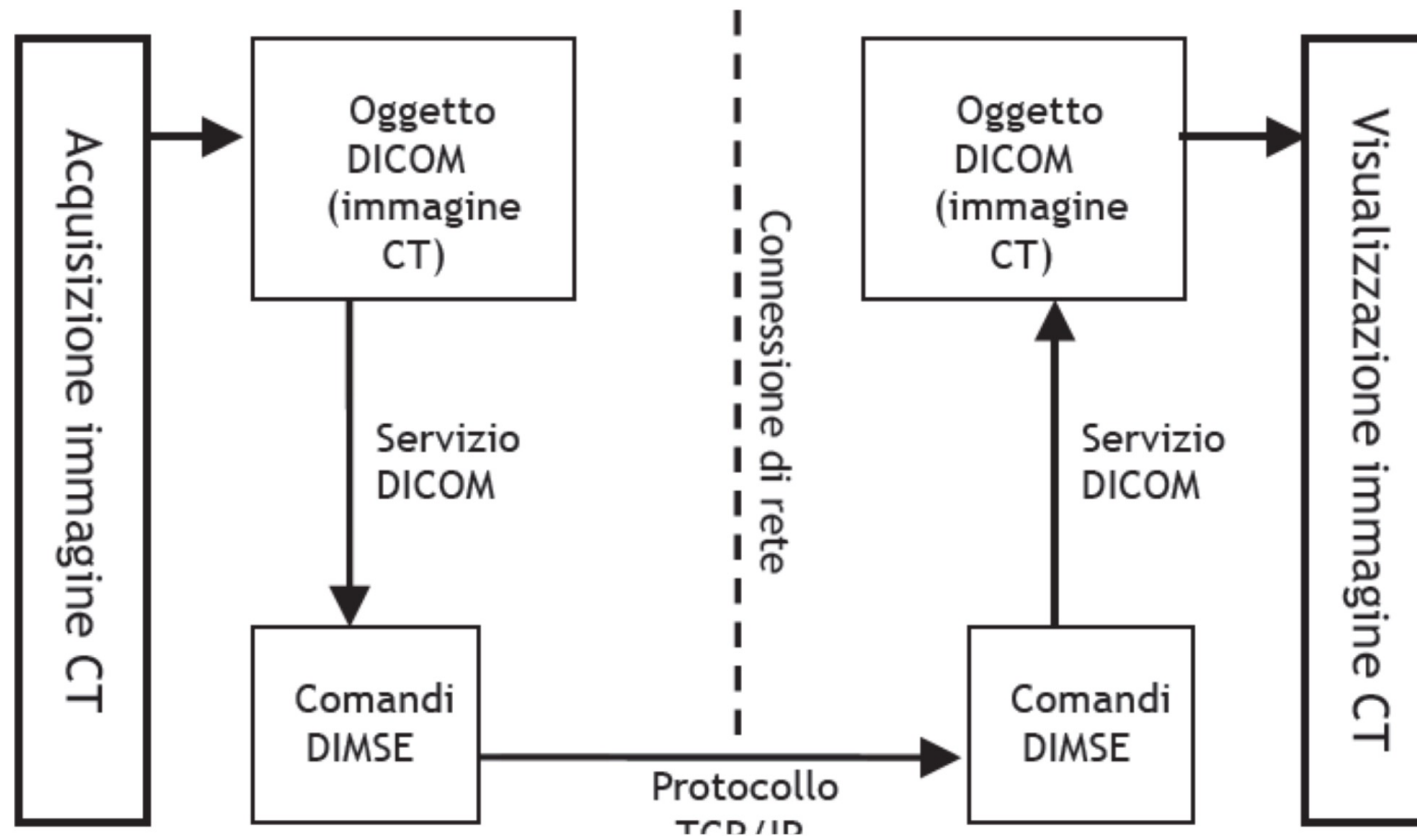
- Modello della comunicazione
 - I diversi dispositivi implementano diversi profili di SCU e/o SCP per differenti Service Class
 - Esempio: il dispositivo XXX supporta il CT image storage SCU e SCP, MR image storage SCU e SCP, DR image storage SCP → il dispositivo XXX può inviare e ricevere CT e MR, ma può solo ricevere radiografie digitali (DR)

Formato DICOM

- Modello della comunicazione
 - Verification Service Class SCP/SCU: Le richieste SCU verificano che SCP, se attivo, fornisce una risposta.
 - Storage Service Class SCP/SCU: Quando SCU richiede che un'immagine venga memorizzata, chiede semplicemente al SCP di ricevere l'immagine. La SCP non garantisce alcuna durata o la sicurezza della memorizzazione, ma accetta semplicemente l'immagine dal mittente.
 - Query/Retrieve Service Class SCP/SCU: In questo caso vengono offerti due servizi distinti, appunto di Query e Retrieve. Quando l'SCU invia una query (il nome del paziente, l'ID di studio, ...) relativa alle immagini che il provider ha a disposizione, l'SCP risponde con le informazioni richieste di cui dispone.

Formato DICOM

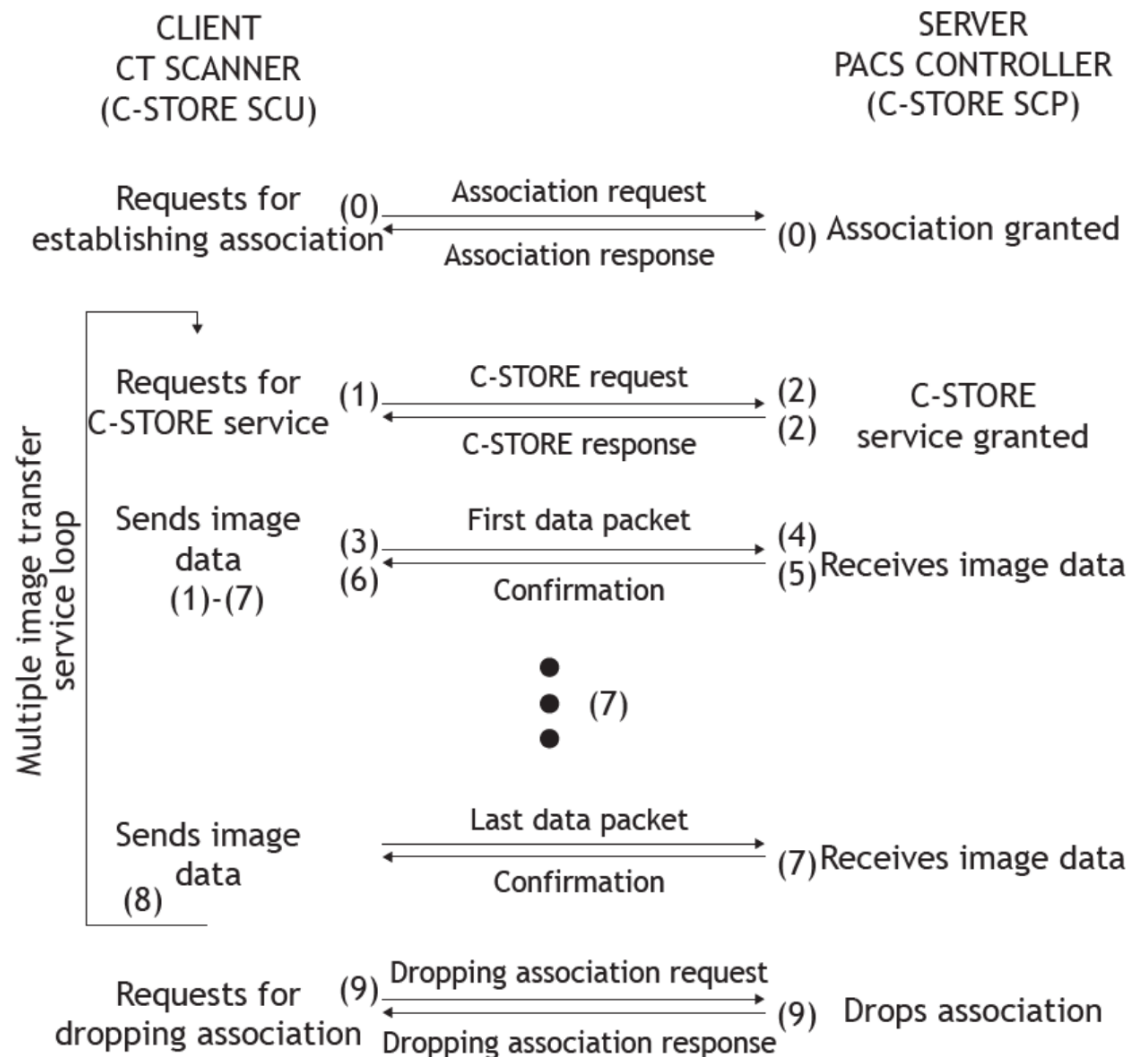
- Modello della comunicazione



Fonte: https://moodle2.units.it/pluginfile.php/282426/mod_resource/content/1/TRM-08-DICOM.pdf

Formato DICOM

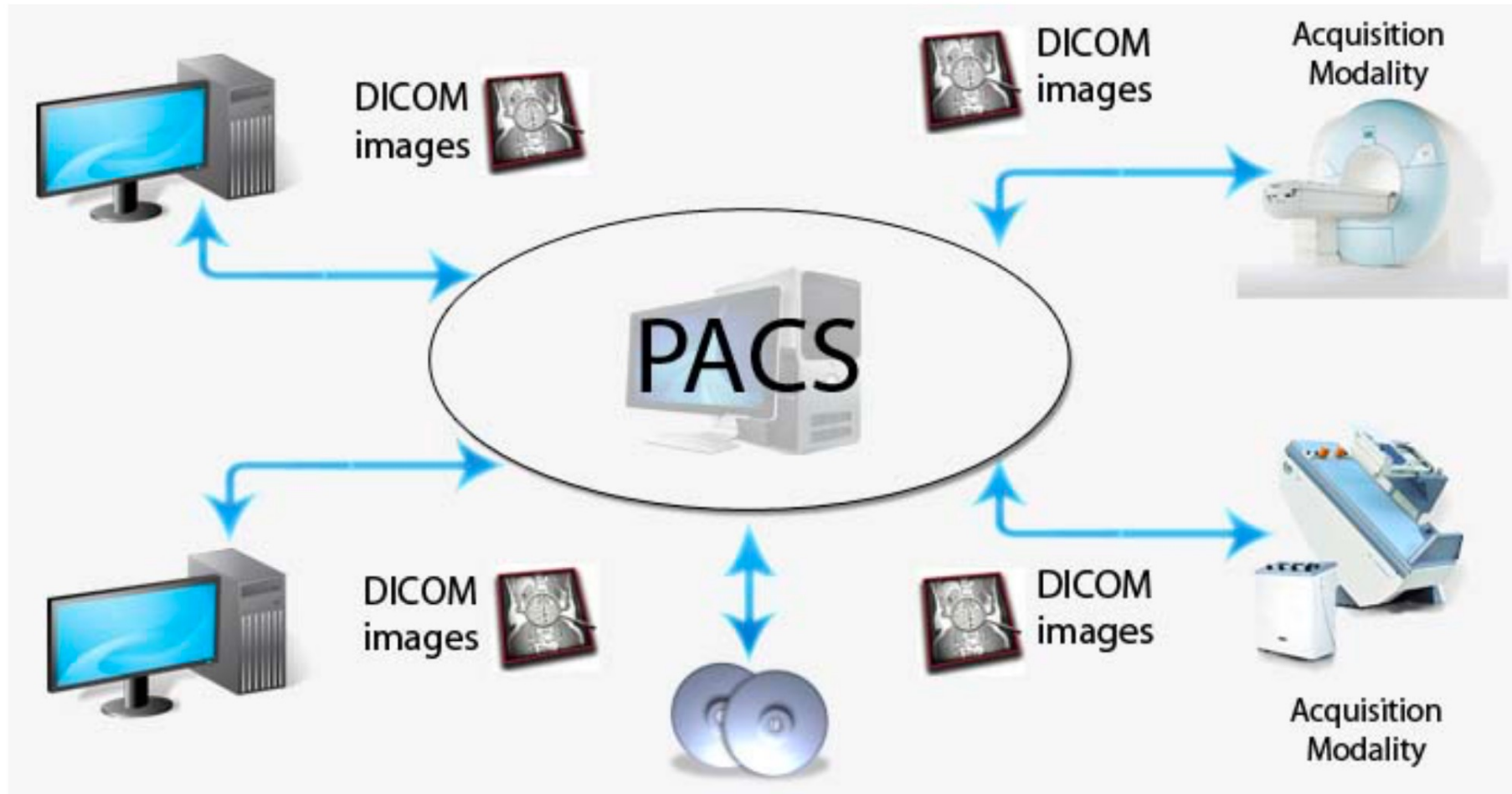
- Modello della comunicazione



Sistemi PACS, RIS, HIS

- Il modello della comunicazione DICOM basato sulle coppie SCU/SCP ha dato luogo alla creazione di una classe di sistemi denominati *Picture Archiving and Communication Systems* (PACS)
- Un sistema PACS è normalmente composto da una parte di archiviazione, utilizzata per gestire dati e immagini e una di visualizzazione, che presenta l'immagine diagnostica su speciali monitor ad altissima risoluzione, sui quali è possibile effettuare la diagnosi
- I sistemi PACS più evoluti permettono anche l'elaborazione dell'immagine, come per esempio le ricostruzioni 3D

Sistemi PACS, RIS, HIS



Sistemi PACS, RIS, HIS

- I PACS si integrano all'interno di un ecosistema di sistemi informativi più ampio
 - RIS: *Radiology Information System*
 - HIS: *Hospital Information System*

Sistemi PACS, RIS, HIS

- RIS
 - Il Radiology Information System viene utilizzato nelle Radiologie per gestire il flusso dei dati legati ai pazienti.
 - Le funzionalità del RIS permettono di gestire tutta la serie di azioni o eventi, che partono dall'approccio del paziente con la struttura e terminano con la consegna del referto

Sistemi PACS, RIS, HIS

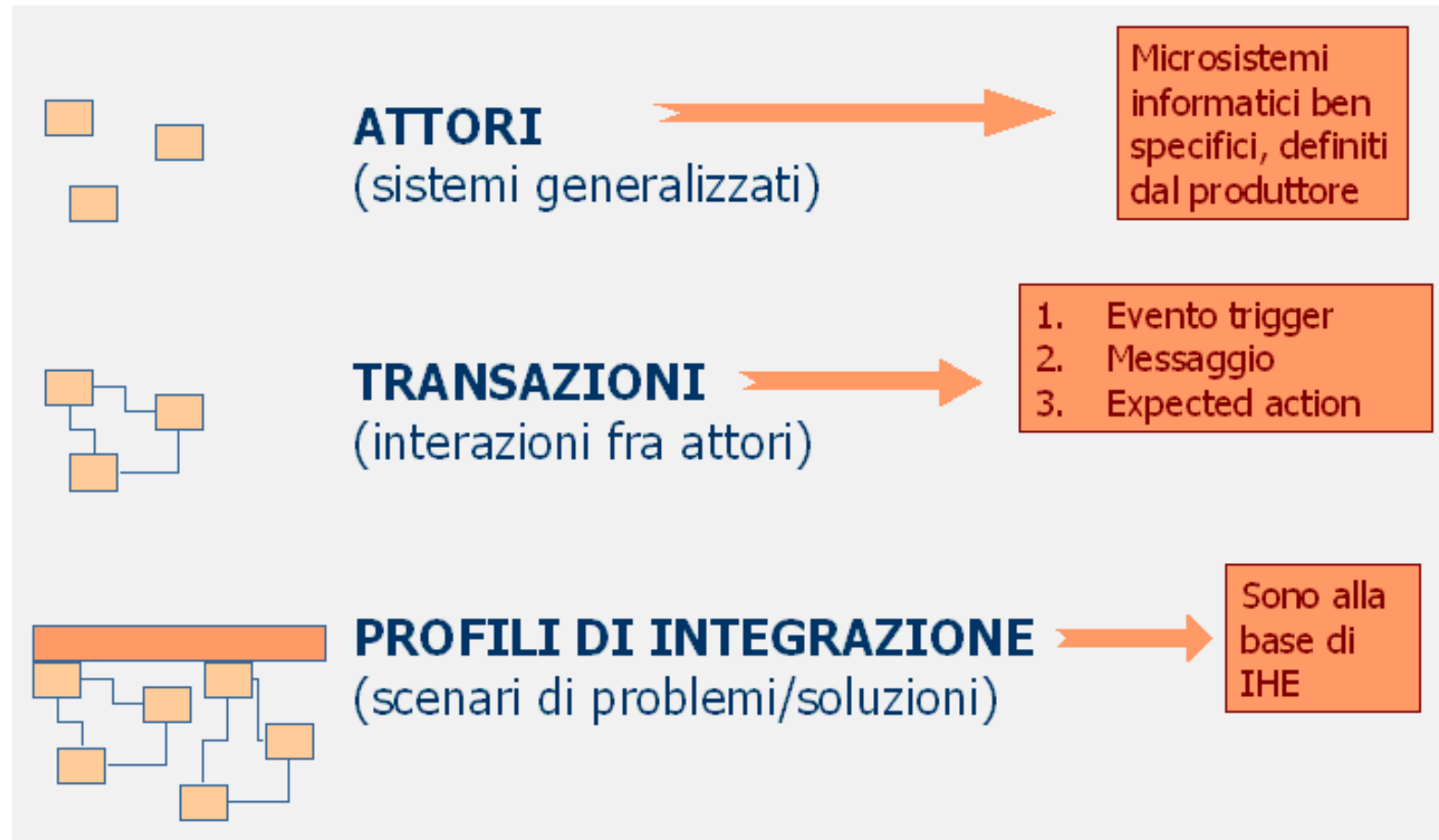
- HIS
 - strumento informatico o meglio l'insieme integrato di strumenti informatici utilizzati in ambito sanitario per gestire i flussi amministrativi e clinici di un ospedale:
 - Anagrafica Centrale
 - Archivio dei referti
 - Sistema di gestione dei pazienti (Accettazione/Dimissione/Trasferimento - ADT)
 - Rendiconto
 - Analisi dei costi
 - Un HIS in genere gestisce in maniera integrata due grandi strutture di dati
 - Electronic Health Record (EHR) / Cartella Clinica Elettronica (CCE) : i dati clinici di cui può disporre il cittadino
 - Electronic Medical Record (EMR) / Cartella Clinica Sanitaria (CCS): i dati di proprietà del sistema sanitario.

Sistemi PACS, RIS, HIS

- Integrating the Healthcare Enterprise (IHE)
 - La [Integrating the Healthcare Enterprise](#) (IHE) è una organizzazione no profit che collabora con le varie istituzioni internazionali legate alla sanità per promuovere l'adozione di standard informatici unificati per la condivisione di informazioni
 - Lo scambio di informazioni tra HIS, RIS e PACS corrisponde ad un particolare *Profilo di Integrazione* (ovvero uno scenario standardizzato) denominato *Scheduled Workflow* e definito da IHE

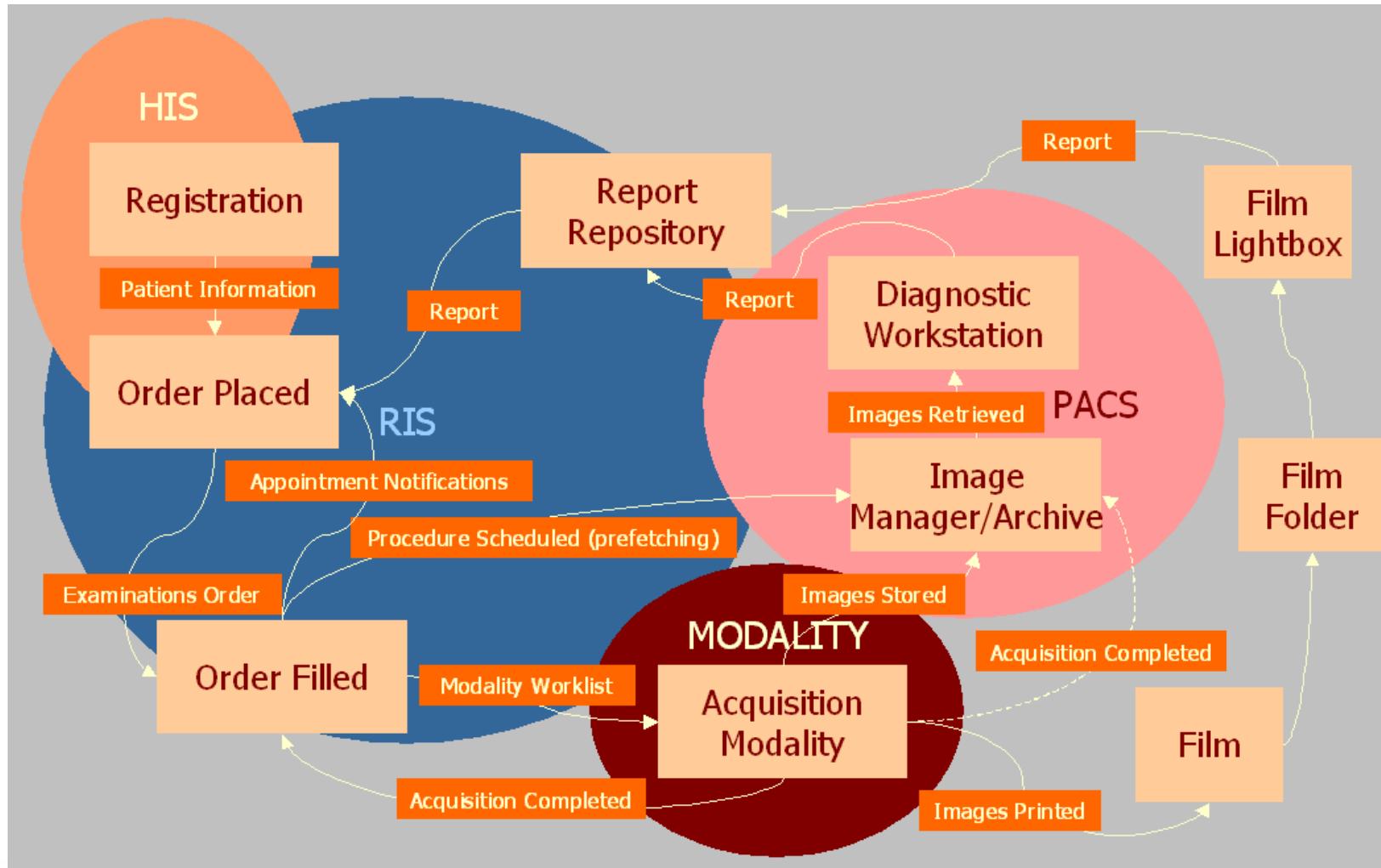
Sistemi PACS, RIS, HIS

- IHE



Sistemi PACS, RIS, HIS

- IHE



Sistemi PACS, RIS, HIS

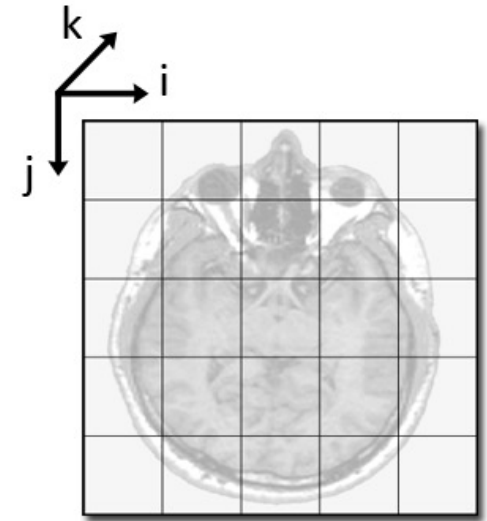
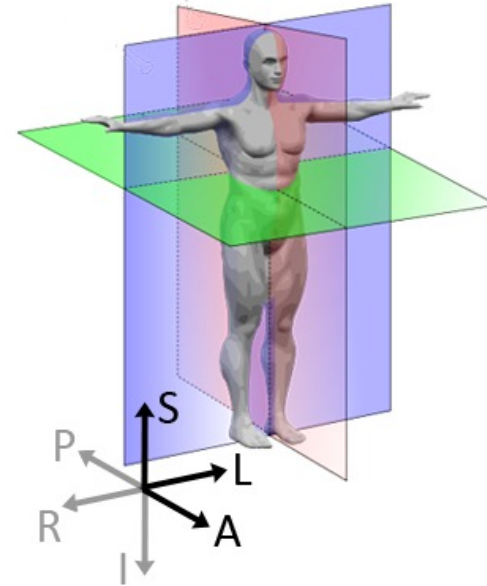
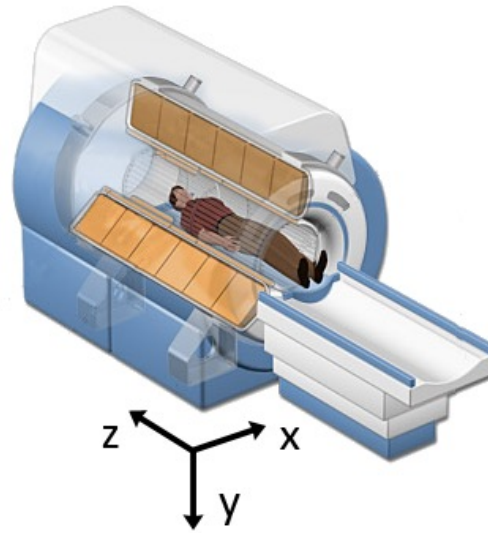
- Health Level 7 (HL7)
 - [HL7](#) è una organizzazione no profit che si occupa di gestire standard per la sanità
 - Per estensione il nome è stato dato ad alcuni standard internazionali da essa definiti per il trasferimento di dati clinici e amministrativi tra applicazioni software usate dalle organizzazioni sanitarie
 - «Level 7» è una metafora per il livello applicativo dello standard ISO/OSI che definisce la comunicazione tra applicazioni su rete
 - Lo IHE Structured Workflow prevede una comunicazione tra PACS, RIS e HIS che utilizza HL7

Formato NIFTI

- Il formato NIFTI (Neuroimaging Informatics Technology Initiative) è stato sviluppato come supporto per la descrizione di immagini e volumi per il *neuroimaging*
 - Pensato principalmente per scansioni di Risonanza Magnetica
- Lo standard è stato definito nel 2003 dal comitato denominato Data Format Working Group (DFWG) riunitosi presso il National Institute of Health (NIH)
- Sostituisce il precedente standard ANALYZE ed è pensato per rappresentare i dati in un sistema di riferimento pensato per l'imaging *neurologico* piuttosto che *radiologico*

Formato NIFTI

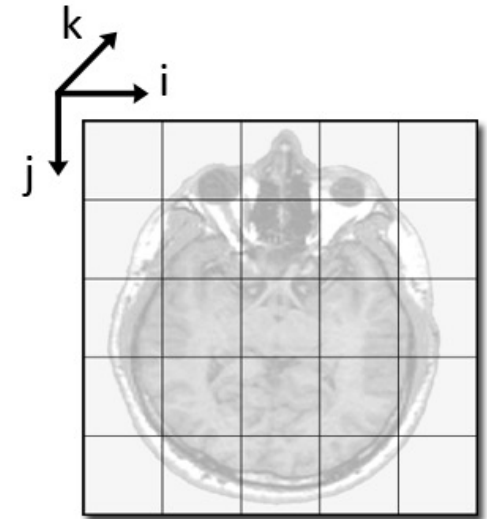
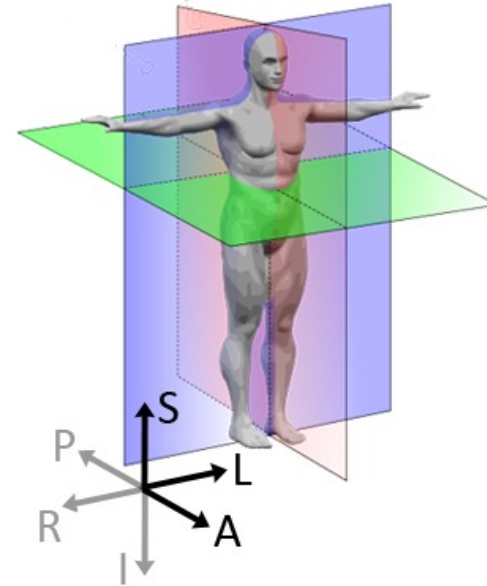
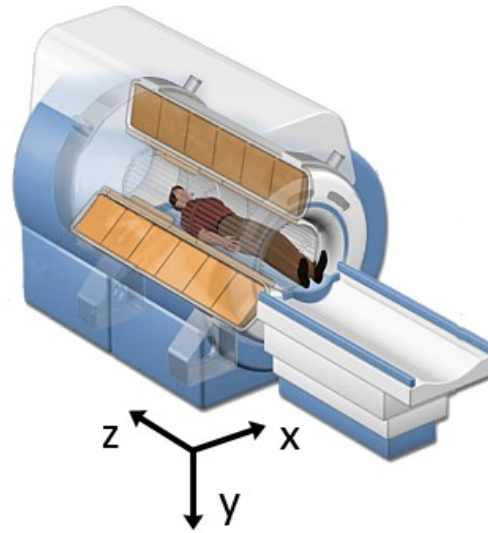
- In medicina si possono considerare tre sistemi di coordinate:
 - Sistema di Coordinate Mondo
 - Sistema di Coordinate Anatomico
 - Sistema di coordinate Immagine



Fonte: https://www.slicer.org/wiki/Coordinate_systems

Formato NIFTI

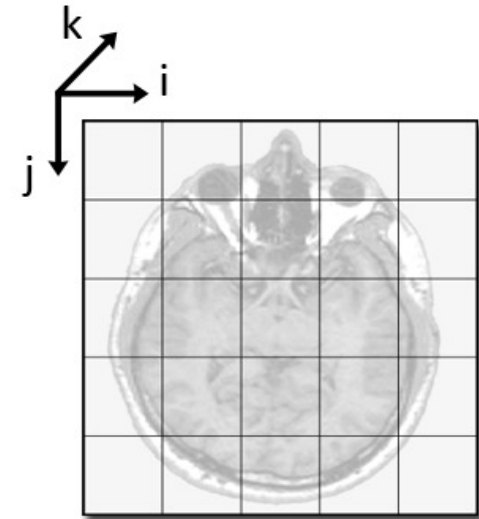
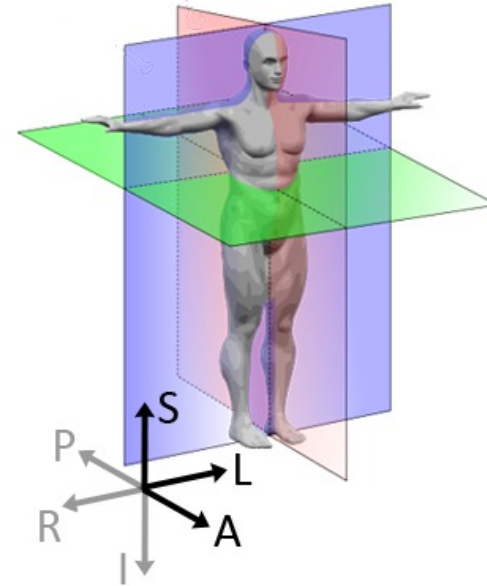
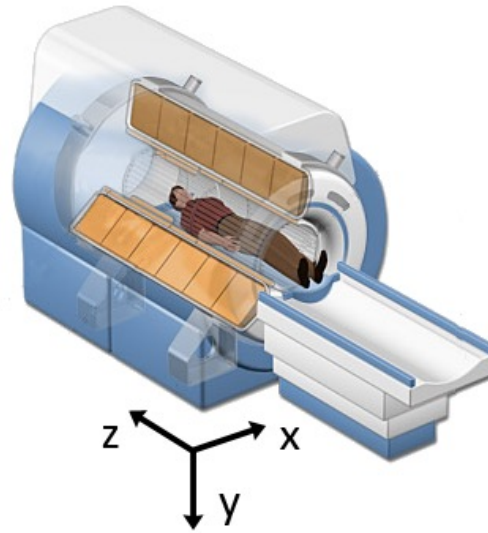
- Sistema di coordinate anatomico:
 - **Piano assiale**: separa la parte inferiore (I) da quella superiore (S) del corpo
 - **Piano Coronale**: separa anteriore (A) da posteriore (P)
 - **Piano Sagittale**: separa destra (R) da sinistra (L)



Fonte: https://www.slicer.org/wiki/Coordinate_systems

Formato NIFTI

- Sistema di coordinate anatomico:
 - **RAS** (Right, Anterior, Superior) esprime la vista «radiologica» di fronte e dai piedi
 - **LPS** (Left, Posterior, Superior) esprime la vista «neurologica» da dietro



Fonte: https://www.slicer.org/wiki/Coordinate_systems

Formato NIFTI

- Il formato NIFTI nasce per gestire anche sequenze di volumi di dati, acquisite lungo un certo intervallo di tempo
- Fornisce informazioni dettagliate sulla posizione spaziale dei voxel e sulla trasformazione affine cui il volume è soggetto
- Riferimenti:
 - <https://brainder.org/2012/09/23/the-nifti-file-format/>
 - <https://www.nitrc.org/docman/view.php/26/204/TheNIfTI1Format2004.pdf>

Formato NIFTI

- Estensione .nii ovvero .nii.gz poiché il dato può essere compresso usando gzip e il formato compresso viene decompresso in pipeline all'apertura del file
- Un file NIFTI è composto da un header e dall'immagine vera e propria
 - Riunisce i due file .hdr e .img che costituivano il dato ANALYZE
 - Lo header ha una dimensione di 348 B (NIFTI-1) ovvero 540 B (NIFTI-2) se contiene una serie di informazioni, ciascuna con il suo tipo, che fanno riferimento alla dimensione e al tipo del dato, alle dimensioni fisiche spazio/temporali della scansione e alla eventuale trasformazione affine cui è soggetto il volume di dati

Formato NIFTI

- Principali campi dello header
 - `short dim[8]`: informazioni sulle dimensioni
 - `dim[0]`: dimensioni del dato in (1-7); se non appartiene a questo intervallo, i dati hanno *endianess* opposta al sistema che li legge e l'ordine dei loro byte va invertito
 - `dim[1-4]`: dimensioni spaziali e temporali (x, y, z, t) della sequenza acquisita
 - `dim[5]`: dimensioni del dato conservato in ogni voxel
 - `dim[6-7]`: analoghi a `dim[5]`, in genere non usati

Formato NIFTI

- Principali campi dello header
 - `short intent_code`: codice numerico che indica ciò che il dato dovrebbe contenere
 - `float intent_p*`: tre parametri che indicano valori che valgono per l'intero volume di dati, altrimenti i dati a livello di voxel sono conservati nella quinta dimensione del volume
 - `char intent_name[16]`: descrizione esplicita del contenuto

Formato NIFTI

- Principali campi dello header
 - `short datatype`: codice numerico che esprime il tipo del dato per singolo pixel/voxel
 - `short bitpix`: numero di bit per voxel; deve essere quello richiesto dal codice espresso da `datatype`
 - `float cal_min`, `float cal_max`: gamma dinamica per il display di contenuti scalari

Formato NIFTI

- Principali campi dello header
 - `char dim_info`: codifica in un byte la direzione di codifica della frequenza, della fase e la direzione di scansione
 - `short slice_start`, `short slice_end`, `float slice_duration`: informazioni sul numero di slice della scansione e sulla durata di ogni acquisizione di una slice
 - `char slice_code`: indica l'ordinamento (crescente/decrescente e interallacciato) delle slice

Formato NIFTI

- Principali campi dello header
 - `float pixdim[8]`: dimensioni dei voxel sulle diverse direzioni; il comportamento è analogo a `dim[8]`
 - `char xyzt_units`: unità di misura spaziali e temporali per `pixdim[1-4]`:
 - bit 0-2: unità di misura spaziali
 - bit 3-5: unità di misura temporali
 - bit 6-7: non usati
 - Es. codice 10 → | 0 0 | 0 0 1 | 0 1 0 | cioè codice 8 temporale (sec.) e 2 spaziale (mm)

Formato NIFTI

- Principali campi dello header
 - Orientamento dei voxel nello spazio – Metodo 1: scaling diretto delle posizioni dei voxel

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i \\ j \\ k \end{bmatrix} \odot \begin{bmatrix} \text{pixdim}[1] \\ \text{pixdim}[2] \\ \text{pixdim}[3] \end{bmatrix}$$

- Compatibilità con ANALYZE, non usato

Formato NIFTI

- Principali campi dello header
 - Orientamento dei voxel nello spazio – Metodo 2: rotazione tramite quaternione
 - `short qform_code > 0` (valori ammessi: 0, 1, 2)
 - `float quatern_b`, `float quatern_c`, `float quatern_d` rappresentano i coefficienti di un quaternion unitario di rotazione espresso come (a, \bar{b}, c, d) per cui $a = \sqrt{1 - b^2 - c^2 - d^2}$
 - `float q_fac` ovvero `pixdim[0]` contengono il fattore di scala q usato nel calcolo dell'effettiva rotazione che dev'essere 1 o -1

Formato NIFTI

- Principali campi dello header
 - Orientamento dei voxel nello spazio – Metodo 2: rotazione tramite quaternione

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} a^2 + b^2 - c^2 - d^2 & 2(bc - ad) & 2(bd + ac) \\ 2(bc + ad) & a^2 + c^2 - b^2 - d^2 & 2(cd - ab) \\ 2(bd - ac) & 2(cd + ab) & a^2 + d^2 - b^2 - c^2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \mathbf{R} \begin{bmatrix} i \\ j \\ q \cdot k \end{bmatrix} \odot \begin{bmatrix} \text{pixdim}[1] \\ \text{pixdim}[2] \\ \text{pixdim}[3] \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \text{qoffset_x} \\ \text{qoffset_y} \\ \text{qoffset_z} \end{bmatrix}$$

Formato NIFTI

- Principali campi dello header
 - Orientamento dei voxel nello spazio – Metodo 3: uso esplicito di una trasformazione affine
 - `short sform_code` è il codice, in questo caso diverso da 0, di allineamento del volume con un sistema di coordinate o atlante anatomico

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{srow_x}[0] & \text{srow_x}[1] & \text{srow_x}[2] & \text{srow_x}[3] \\ \text{srow_y}[0] & \text{srow_y}[1] & \text{srow_y}[2] & \text{srow_y}[3] \\ \text{srow_z}[0] & \text{srow_z}[1] & \text{srow_z}[2] & \text{srow_z}[3] \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i \\ j \\ k \\ 1 \end{bmatrix}$$