

Sistemi di diagnosi assistita (CAD)

Daniele Regge, Delia Campanella

Introduzione

I sistemi di diagnosi assistita dal computer, o CAD (Computer-Aided Detection), sono piattaforme informatiche che aiutano il radiologo nella diagnosi, evidenziando le più probabili sedi di malattia o suggerendo la natura, benigna o maligna, di un reperto. Nel modello, la diagnosi definitiva è del radiologo che deve decidere se accogliere o no le segnalazioni del CAD.

L'uso di sistemi CAD non è nuovo alla radiologia. Già da anni sono proposte piattaforme software per l'identificazione e la differenziazione di noduli in mammografia digitale [1, 2] e, più recentemente, di noduli polmonari alla TC [3, 4, 5]. Nonostante le numerose segnalazioni della letteratura, ancor oggi questi sistemi non trovano un utilizzo diffuso nella pratica clinica. La principale motivazione è nei limiti che anche i moderni sistemi CAD hanno nell'identificazione delle lesioni sospette e nel numero elevato di segnalazioni, fatto che prolunga i tempi di lettura e può determinare un aumento dei tassi d'approfondimento diagnostico. In una recente pubblicazione su una serie di pazienti sottoposti a mammografia, il tasso di richiami è stato molto più elevato con l'uso del CAD, a fronte di un tasso trascurabile di nuove diagnosi [6].

L'idea di sviluppare sistemi CAD per la colonscopia virtuale (CV) è relativamente più recente perché più recente è l'avvento di questa nuova tecnica d'esame. Nonostante la relativa "giovinezza"

della CV, lo sviluppo di sistemi CAD in questo campo è stato tumultuoso e, ad oggi, non solo molte istituzioni accademiche, ma anche numerose aziende biomedicali propongono sistemi CAD integrati nel flusso della propria stazione di lavoro [7]. Nel caso specifico della CV, il CAD si riferisce ad uno schema computerizzato che rileva automaticamente una serie di sospetti polipi sulle immagini TC e li segnala al radiologo, al quale spetta poi determinare quali delle segnalazioni sono lesioni del colon e quali falsi positivi del sistema.

Tecnologia dei sistemi CAD

La costruzione di uno schema CAD per CV comprende le seguenti tre fasi: 1) la segmentazione del colon, 2) l'individuazione nel colon segmentato delle regioni sospette, i candidati polipi e 3) la classificazione dei candidati polipi [8].

La segmentazione consiste nell'estrazione del colon dal volume di dati generati dalla TC. Il CAD ricerca le strutture simili ai polipi solo nei segmenti intestinali estratti e quindi è importante che l'estrazione del colon avvenga in modo corretto (Fig. 9.1). Se la segmentazione è accurata, i tempi di elaborazione sono contenuti e si evitano riconoscimenti all'interno di strutture che non appartengono al colon (es. piccolo intestino, stomaco, basi polmonari). Al contrario, se per errore alcuni segmenti colici non sono segmentati, essi

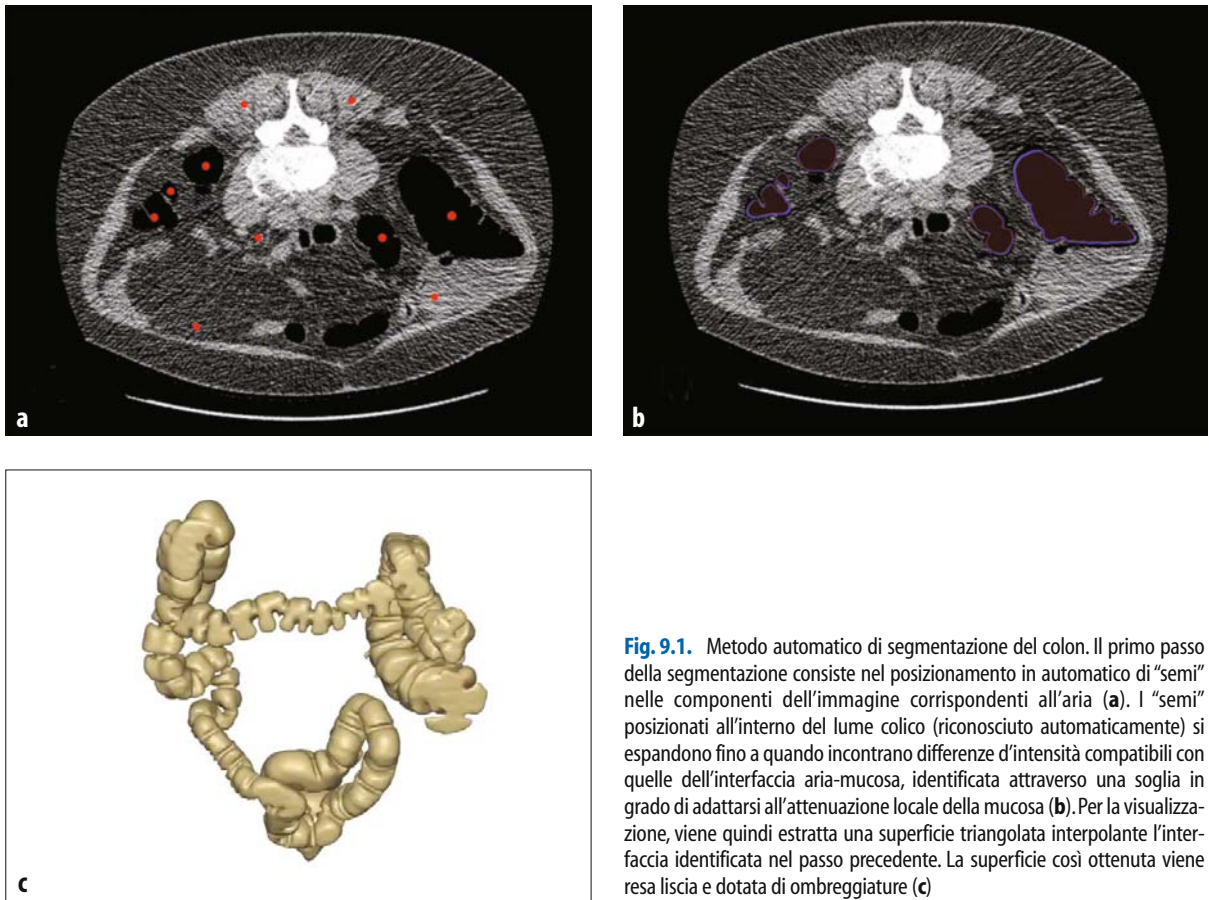


Fig. 9.1. Metodo automatico di segmentazione del colon. Il primo passo della segmentazione consiste nel posizionamento in automatico di “semi” nelle componenti dell’immagine corrispondenti all’aria (a). I “semi” posizionati all’interno del lume colico (riconosciuto automaticamente) si espandono fino a quando incontrano differenze d’intensità compatibili con quelle dell’interfaccia aria-mucosa, identificata attraverso una soglia in grado di adattarsi all’attenuazione locale della mucosa (b). Per la visualizzazione, viene quindi estratta una superficie triangolata interpolante l’interfaccia identificata nel passo precedente. La superficie così ottenuta viene resa liscia e dotata di ombreggiature (c)

non saranno riconosciuti dal CAD come regioni in cui cercare eventuali polipi.

I metodi utilizzati per l’estrazione del colon per lo più sfruttano le differenze d’attenuazione esistenti tra i tessuti molli, l’aria e gli agenti utilizzati per la marcatura. Questi metodi d’estrazione possono essere automatici, e quindi più adatti agli schemi CAD, o semi-automatici, in genere preferiti per la visualizzazione interattiva del colon. L’introduzione della preparazione intestinale con marcatura fecale ha portato allo sviluppo d’algoritmi di sottrazione elettronica (electronic cleansing), in grado di distinguere automaticamente i residui solidi o liquidi marcati dalla parete colica. Il fluido e le feci marcate sono sottratti esponendo una superficie maggiore del colon, che può essere analizzata alla ricerca di candidati (Fig. 9.2) [9, 10, 11].

Il riconoscimento dei candidati polipi si basa sull’analisi delle caratteristiche morfologiche della superficie estratta: i polipi sono in genere strutture tondeggianti, convesse, adese alla superficie colica, mentre le pliche appaiono come strutture allungate, simili a creste, e la parete colica

come un’ampia struttura concava, quasi piatta. Per la caratterizzazione morfologica della superficie colica vengono utilizzati l’indice volumetrico di forma e l’indice volumetrico di curvatura. L’indice di forma analizza un gruppo continuo di voxel e assegna loro un valore crescente a seconda dell’appartenenza a una delle classi morfologiche descritte nella Figura 9.3. Il polipo ha un aspetto cupoliforme e viene classificato con il valore più elevato (Fig. 9.3d). L’indice di curvatura descrive quanto dolcemente una superficie sia curva. Valori bassi indicano variazioni deboli di curvatura (Fig. 9.4), mentre valori positivi elevati indicano brusche variazioni di curvatura (vedi Fig. 9.4b). I polipi sono caratterizzati da valori intermedi (Fig. 9.4c). Dalla combinazione dei due indici morfologici il sistema è in grado di rilevare la differenza esistente tra polipi, auste e parete colica.

Al termine dell’analisi, i candidati polipi riconosciuti dal sistema CAD comprendono in realtà un gran numero di falsi positivi, nell’ordine dei 50-100 per serie, in maggioranza dovuti a pliche

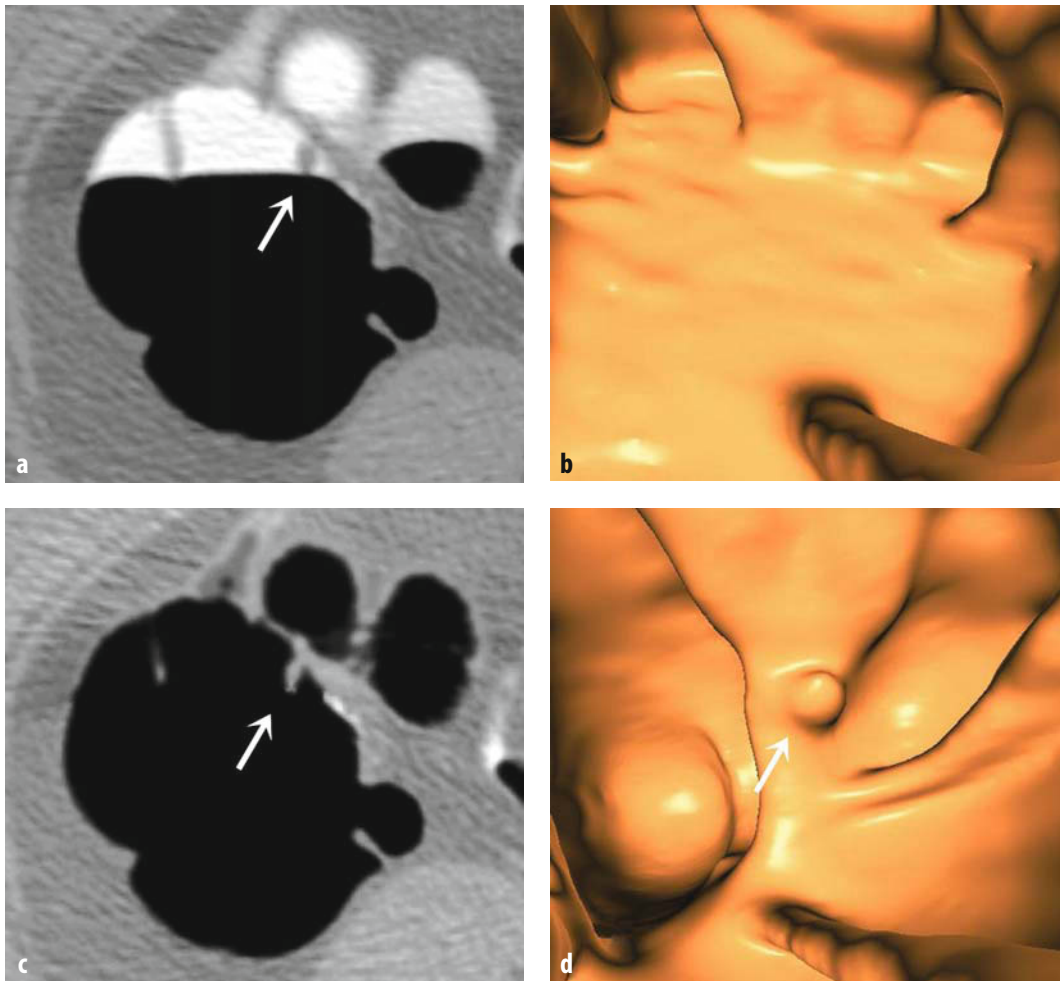


Fig. 9.2. Sottrazione elettronica. Un polipo sessile del colon ascendente sommerso da residui liquidi marcati (*freccia*) è ben visibile sulle immagini 2D (a) ma non è visibile sulle immagini 3D, poiché il liquido nasconde la parete sottostante (b). La sottrazione elettronica rimuove dal lume colico tutti i residui marcati e permette di visualizzare l'interfaccia parete-aria sia sulle immagini bidimensionali (c) sia su quelle tridimensionali (d). Il polipo (*freccia*) potrà quindi essere visualizzato anche durante la navigazione virtuale

ispessite e residui fecali. Di conseguenza, per rendere più agevole la lettura dell'esame, è necessaria una selezione del numero di candidati da presentare al lettore. Questo processo è articolato in due fasi: 1) la caratterizzazione dei falsi positivi e 2) la differenziazione tra falsi positivi e polipi veri, ovvero quelle strutture che con alta probabilità rappresentano i polipi per il CAD. Tutti i metodi utilizzati per la caratterizzazione dei falsi positivi si basano sul riconoscimento di caratteristiche dell'immagine (es. variazione della densità interna, concentrazione di gradiente), che sono tipiche per una determinata struttura. Una volta che il sistema ha calcolato le caratteristiche di ogni candidato, viene applicato un classificatore statistico in grado

di generare un confine tra le caratteristiche appartenenti alla classe dei polipi e quelle appartenenti alla classe dei non polipi (es. residui fecali, pliche ispessite). Sono mostrati al radiologo solo i candidati del CAD appartenenti alla classe dei polipi. I candidati polipi sono visualizzati sulle stazioni di lavoro come reperi grafici; su alcune interfacce viene presentata anche una lista dei candidati (Fig. 9.5) [12].

Lo schema CAD viene poi addestrato su esami di CV verificati alla colonscopia convenzionale, in cui è nota la presenza o meno di polipi e la loro collocazione. In questa fase di sviluppo il CAD impara a riconoscere le regioni anomale della superficie colica e ad eliminare i candidati per lui

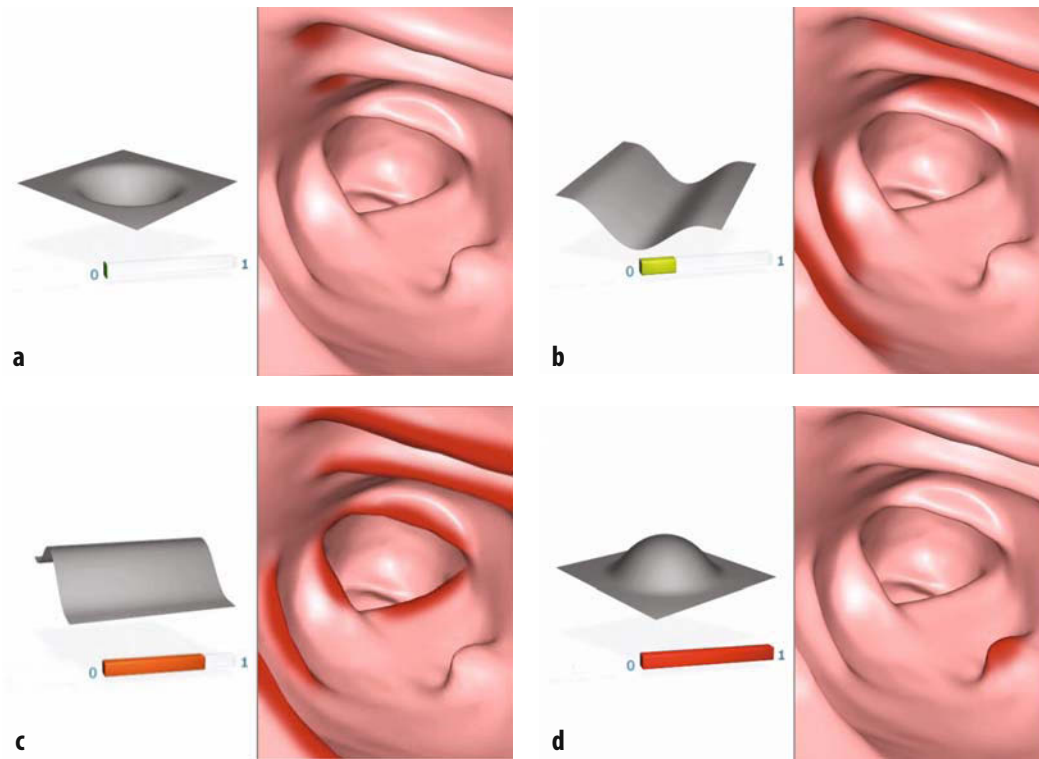


Fig. 9.3. Indice volumetrico di forma. I valori dell'indice di forma che caratterizzano porzioni di superficie variano da 0 a 1. Valori prossimi allo 0 definiscono porzioni di superficie con morfologia "a coppa" (a); valori di poco superiori definiscono una superficie sempre concava ma con forma allungata, "a solco", come tipico delle depressioni tra le haustre (b); valori di circa 0,5 definiscono superfici convesse e di forma allungata, "a cresta", come tipico delle pliche (c); valori prossimi a 1 definiscono porzioni di superficie con morfologia "a cupola", come quella di un polipo (d)

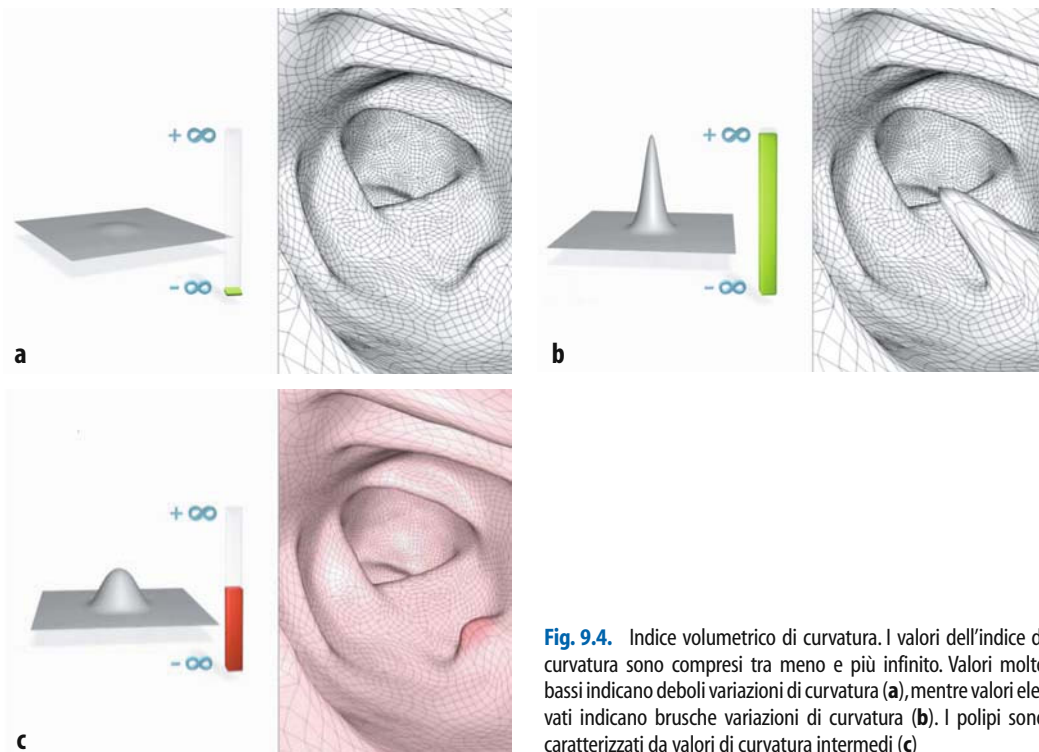


Fig. 9.4. Indice volumetrico di curvatura. I valori dell'indice di curvatura sono compresi tra meno e più infinito. Valori molto bassi indicano deboli variazioni di curvatura (a), mentre valori elevati indicano brusche variazioni di curvatura (b). I polipi sono caratterizzati da valori di curvatura intermedi (c)

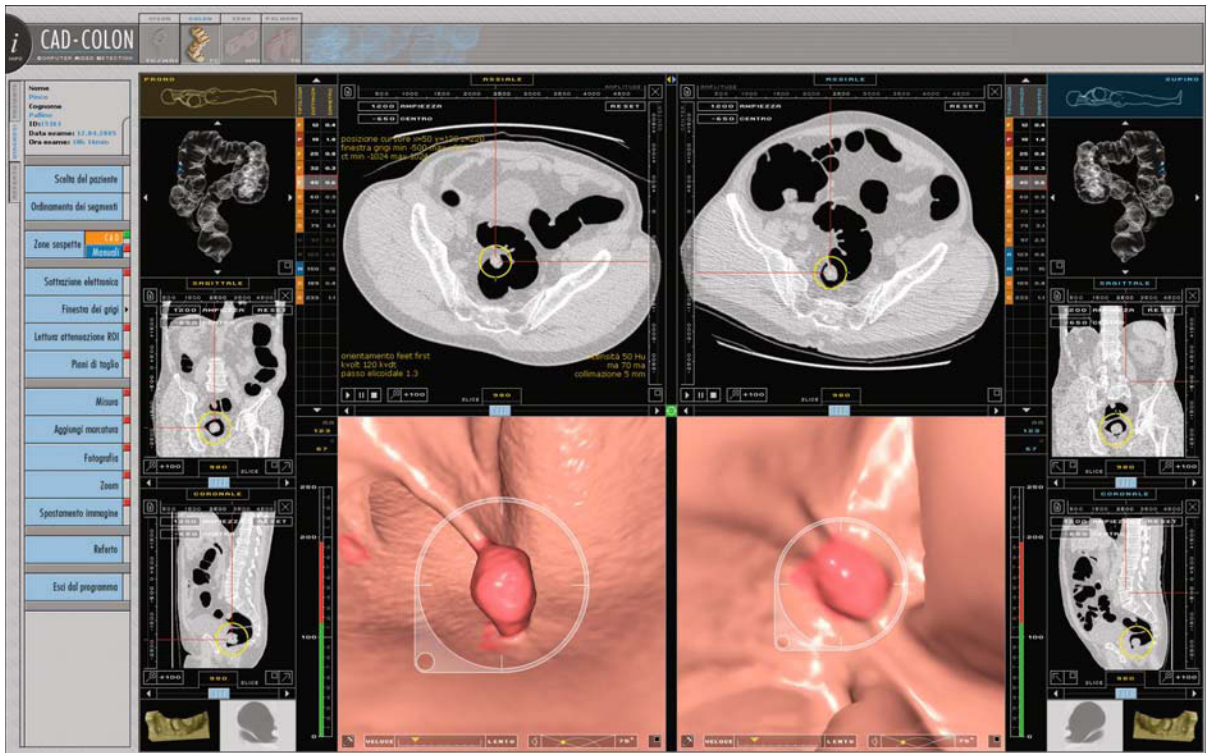


Fig. 9.5. Esempio d'interfaccia grafica di un sistema CAD integrato su una stazione di lavoro per la CTC. I candidati polipi proposti dal CAD sono mostrati al radiologo come liste di candidati, come reperti grafici sulle immagini 2D e come variazioni di colore sulle immagini 3D

corrispondenti a falsi positivi. Dato che l'utilità clinica di un sistema CAD è nella sua generalizzazione, esso deve funzionare in modo efficace anche quando utilizzato in situazioni diverse da quelle della fase di sviluppo. Per questo motivo, una volta che le prestazioni del software sono considerate accettabili, il CAD viene testato su dati provenienti da CV diverse da quelle utilizzate nella fase di sviluppo [13]. Per la validazione di un sistema CAD possono essere adottate strategie sperimentali diverse, ma l'importante è che al sistema venga richiesto di riconoscere polipi che non ha mai incontrato precedentemente, altrimenti si correrebbe il rischio di sovrastimare le prestazioni diagnostiche del sistema stesso.

Una volta che il software CAD è stato testato, sarà possibile ricavarne le caratteristiche intrinseche rappresentando i dati sotto forma di curve FROC (Free-response Receiver Operating Characteristic). Nelle curve FROC la sensibilità del sistema è correlata al numero di falsi positivi per paziente o per set di dati (Fig. 9.6). Le curve consentono anche di stabilire il punto operativo del CAD, che in genere è il miglior compromesso tra

sensibilità e specificità. I valori di sensibilità e specificità al punto operativo servono anche come criterio di valutazione dei sistemi CAD e consentono, entro certi limiti, un confronto tra le diverse tecnologie.

I dati presentati nella Tabella 9.1 mostrano le prestazioni di diversi sistemi CAD. Considerando solo i risultati dei polipi di almeno 10 mm, i valori di sensibilità variano tra l'83 e il 100% e il numero di falsi positivi tra 1,7 e 13 [13-23]. Le differenze nei valori riscontrati non dipendono esclusivamente dalle prestazioni del CAD, ma anche dai protocolli con cui è stato effettuato l'esame TC. Ad esempio, l'uso di protocolli a bassa dose riduce le prestazioni del CAD. È interessante notare che i valori di sensibilità del CAD sono paragonabili a quelli delle casistiche di CV in lettura non assistita [24]. Ad oggi non sono stati effettuati studi prospettici sulle prestazioni dei sistemi CAD ed è difficile confrontare tra di loro i differenti lavori pubblicati [25]; tuttavia, gli autori sono concordi nell'indicare che il CAD da solo ha un'elevata sensibilità a costo di un'accettabile percentuale di falsi positivi [12]. Conoscere le prestazioni di un sistema CAD è solo

Tabella 9.1 Prestazioni di schemi CAD a confronto

	Nr. pazienti (nr. polipi)	Sensibilità per polipo (%)			FP per paziente	MF
		≥ 6 mm	6-9 mm	≥ 10 mm		
Yoshida, Radiographics 2002 [14]	71 (35)	ND	21/23 (91)	11/12 (92)	2	no
Mani, JCAT 2004 [15]	41 (69)	ND	26/41 (63)*	10/12 (83)	ND	no
Bogoni, Br J Radiol 2005 [16]	62 (39)	ND	9/11 (81,8)	10/10 (100)	8	no
Summers, Gastroenterology 2005 [17]	792 (173)	72/95 (75,8)	ND	25/28 (89,3)	7,9-2,1	sì
Halligan, Clin Radiol 2006 [13]	25 (57)	29/31 (94)	ND	9/10 (90)	ND	sì
Taylor, AJR 2006 [18]	25 (32)	ND	15/29 (75)	11/12 (92)	13	no
Taylor, Radiology 2006 [19]	20 (43)	ND	13/17 (76)	9/9 (100)	ND	sì
Halligan, Gastroenterology 2006 [20]	167 (142)	49/62 (79)	ND	17/19 (89,5)	11,6	no
Taylor, Radiology 2007 [21]	25 (69)	37/41 (90)	ND	18/19 (95)	19	no
Mang, Eur Radiol 2007 [22]	52 (55)	50/55 (91)*	26/30 (87)*	24/25 (96)	1,7	no
Petrack, Radiology 2008 [23]	60 (24)	10/24 (42)	5/19 (26)	5/5 (100)	ND	sì

FP = numero di falsi positivi; MF = marcatura fecale; ND = non disponibile

* Dimensioni minime dei polipi 5 mm

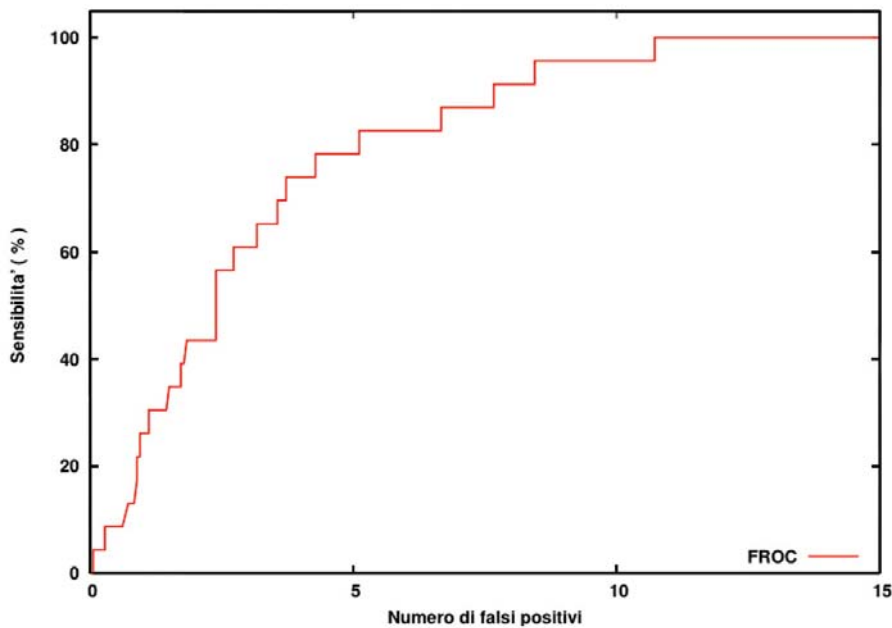


Fig. 9.6. Esempio di curva FROC di un sistema CAD teorico. Sull'asse delle ordinate è riportata la sensibilità del CAD e sull'asse delle ascisse il numero di falsi positivi del CAD, indice della sua specificità. Il punto di lavoro di un sistema CAD viene stabilito in base al miglior rapporto tra sensibilità e specificità

il primo passo verso la valutazione del valore che questo strumento può dimostrare nella refertazione di una CV. In aggiunta, è indispensabile valutare le interazioni che il CAD può avere con il radiologo durante la lettura dell'esame.

Integrazione del CAD nei flussi di lavoro

La maggioranza dei polipi non diagnosticati alla lettura prospettica della CV sono, in realtà, visibili a una revisione dell'esame. Doshi e coll. [26] hanno riesaminato le CV di tutti i pazienti falsi negativi di uno studio multicentrico; 23 dei 34 polipi inizialmente non visti (67,6%) sono stati riconosciuti dai revisori. Le cause di mancata diagnosi possono essere molteplici. Tra queste l'affaticamento, determinato dalla lettura di più esami consecutivi, il livello di esperienza, l'abilità individuale del radiologo e le condizioni di lavoro. Un ambiente rumoroso e frequenti interruzioni durante la lettura possono incidere negativamente sulle prestazioni.

Alcuni studi hanno confrontato le prestazioni del CAD con quelle del radiologo in lettura non assistita, utilizzando il medesimo gruppo di esami. In uno studio di Summers e coll. [27] CAD e radiologo hanno identificato lo stesso numero di polipi (12 su 18, pari al 67%), ma il CAD ha identificato 4 polipi non visti dal lettore umano e, viceversa, il lettore umano ha identificato altrettanti polipi non visti dal CAD. Sommando quindi i polipi visti da ciascuna delle due modalità, il totale dei polipi riscontrati è incrementato del 22% (dal 67 all'89%). Analogamente, in uno studio di Taylor e coll. [18], mentre i lettori esperti e il CAD hanno riconosciuto rispettivamente il 78 e l'81% dei polipi di dimensioni di almeno 6 mm, la sommatoria ha dato un tasso d'identificazione del 100%.

Se i lavori descritti dimostrano che i sistemi CAD possono in teoria migliorare le prestazioni diagnostiche del radiologo, non è detto che ciò avvenga nella realtà. Per una dimostrazione di quanto possono essere utili i sistemi CAD nella pratica clinica, questi devono essere integrati nei flussi delle stazioni di visualizzazione. Per fare ciò è necessario capire come e con quali tempistiche i candidati polipi debbano essere mostrati al radiologo, processo, questo, noto come "paradigma di lettura del CAD" [12].

Lo studio dell'interazione tra il radiologo e i sistemi CAD è alquanto complesso poiché influenzato da molteplici fattori, sia intrinseci ai sistemi CAD (sensibilità, numero di candidati proposti) sia dipendenti dal radiologo e soprattutto dalla sua esperienza nella lettura di esami di CV.

Ad oggi sono stati proposti tre paradigmi di lettura: 1) CAD come primo lettore, nel quale il computer legge per primo le immagini TC e in un secondo momento il lettore umano esamina ed interpreta solo ed esclusivamente i candidati proposti dal CAD; 2) CAD come secondo lettore, nel quale il lettore umano interpreta le immagini TC e in aggiunta, successivamente, riesamina e definisce i candidati proposti dal CAD; 3) lettura assistita dal CAD o lettura in simultanea, nella quale i candidati polipi suggeriti dal CAD sono mostrati al lettore al momento della sua interpretazione delle immagini TC.

CAD come primo lettore

L'utilizzo di un sistema CAD come primo lettore prevede l'analisi e la caratterizzazione da parte del radiologo solo ed esclusivamente dei candidati proposti dal CAD. Questo paradigma è probabilmente vantaggioso se è richiesta la lettura di numerosi esami, come può essere nell'ambito di programmi di prevenzione del tumore del colon-retto, in quanto permetterebbe di ridurre i tempi di lettura, l'affaticamento dei lettori e la variabilità dei risultati, nel caso la lettura fosse eseguita da più radiologi [15, 27, 28].

Il principale limite nell'applicazione di tale paradigma di lettura è nelle prestazioni dei sistemi CAD in commercio, nessuno dei quali raggiunge valori di sensibilità vicini o uguali al 100%. Infatti, è da segnalare come con tale lettura le lesioni non identificate dal CAD sfuggano in automatico anche al radiologo. Tra queste preoccupano le lesioni maligne avanzate, in particolare quelle di forma infiltrante, notoriamente difficili da individuare con il CAD quando viene a mancare la componente vegetante [29, 30]. Per questo motivo tale modalità di lettura è da sconsigliare.

CAD come secondo lettore

L'utilizzo di sistemi CAD in modalità secondo lettore è più sicuro, in quanto il radiologo prima referta l'esame in modo tradizionale e poi applica il CAD. Il CAD può quindi mettere in evidenza reperti che sono sfuggiti alla lettura non assistita (Fig. 9.7). Anche in questo caso il radiologo interviene validando o rifiutando i suggerimenti del CAD. L'utilizzo del CAD come secondo lettore, poiché richiede al radiologo il riesame di tutti i candidati proposti dal sistema, determina inevitabilmente un allungamento dei tempi di referta-

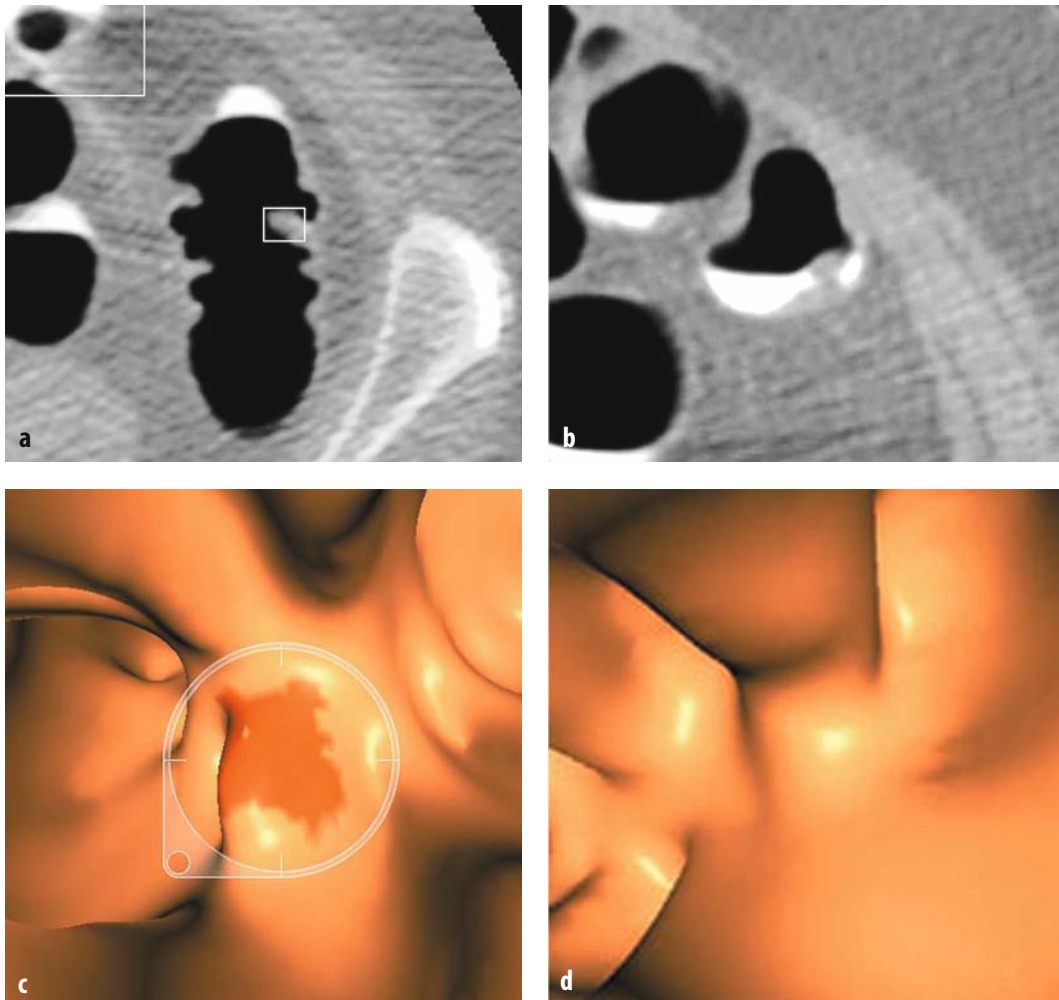


Fig. 9.7. Esempio di polipo sessile del sigma non identificato dal radiologo durante la lettura non assistita e riconosciuto grazie all'aiuto del CAD, utilizzato con paradigma secondo lettore. L'immagine assiale (a) e la visione endoluminale (c) in posizione prona mettono in evidenza il polipo segnalato dal CAD. In posizione supina l'immagine assiale (b) e la visione 3D (d) evidenziano il medesimo polipo parzialmente sommerso dal liquido marcato

zione, stimato nell'ordine dei 2-3 minuti, accettabile nell'ambito del complessivo aumento delle prestazioni diagnostiche [12, 22, 23, 31]. Alcuni studi mostrano, infatti, che il CAD utilizzato in modalità secondo lettore migliora la sensibilità della CV. Petrick e coll. [23] hanno studiato gli effetti di un sistema CAD con paradigma secondo lettore sulle prestazioni diagnostiche di quattro radiologi con differente esperienza in CV, utilizzando un approccio 2D primario. I risultati dello studio hanno evidenziato un aumento della sensibilità del 15% con la lettura assistita rispetto a quella non assistita, per la categoria di polipi di almeno 6 mm. Risultati analoghi sono stati ottenuti da Mang e coll. [22] in una popolazione di 52 pazienti con 55 polipi dal diametro di almeno 5 mm,

ma solo per quanto riguarda la categoria dei lettori non esperti. In questi, la sensibilità è aumentata da valori del 75-76% per la lettura non assistita, al 91-95% con il CAD.

Utilizzando il paradigma secondo lettore è possibile che il CAD induca il radiologo ad un cambio di parere. Questo può essere benefico quando il CAD mostra al radiologo lesioni che a lui erano sfuggite, ma può per contro indurre il lettore a considerare un polipo ciò che in realtà è un falso positivo, riducendo pertanto i valori di specificità. Su quest'ultimo punto i dati presenti in letteratura sono contrastanti. Da un lato, alcuni autori non evidenziano differenze di specificità legate all'utilizzo del paradigma secondo lettore [22]; altri, per contro, quali Petrick e coll. [23] mostrano una riduzione

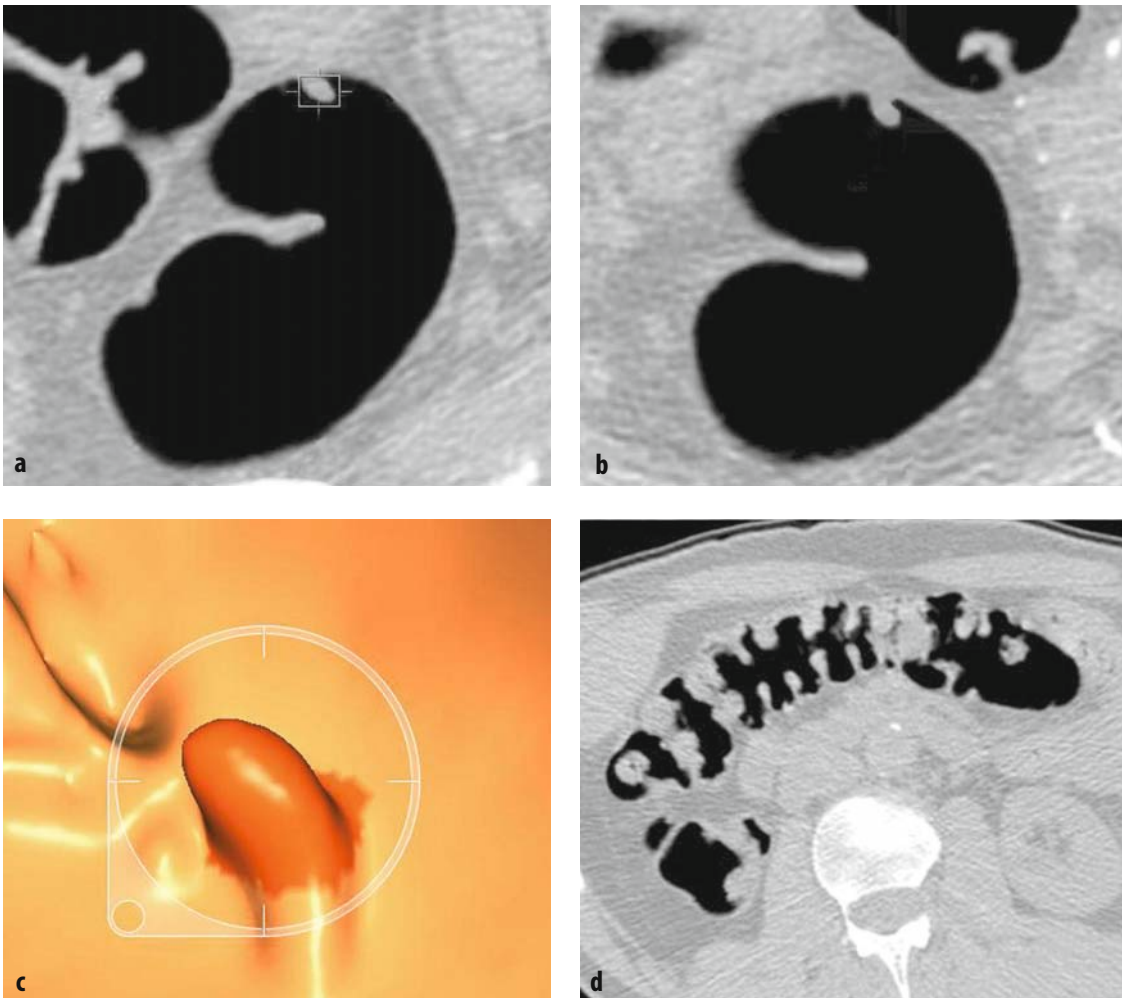


Fig. 9.8. Esempio di reperto falsamente positivo del radiologo, indotto dal CAD utilizzato con il paradigma secondo lettore. Nelle immagini in posizione prona il radiologo valida come polipo del sigma il suggerimento del CAD (a, c), poiché ha riconosciuto la medesima struttura, nella stessa posizione, sulle immagini in decubito supino (b). Il reperto non viene confermato dalla colonscopia tradizionale. L'assenza di marcatura fecale e la scarsa qualità diagnostica dell'esame, causa la presenza di numerosi residui solidi, hanno inficiato la prestazione diagnostica del lettore (d)

significativa della specificità (14%) in seguito all'aumento dei rilievi falsi positivi (Fig. 9.8). L'impatto negativo del CAD sembra essere più evidente quando vengono proposti più di 10 candidati [32] e per i lettori meno esperti [21, 31].

Il CAD concentra l'attenzione del radiologo su alcuni punti limitati della superficie colica e può aiutare nel caso l'errore sia dovuto alla mancata percezione della lesione. Gli schemi CAD non possono però eliminare l'errore d'interpretazione, molto più dipendente dal livello di esperienza del lettore. Quindi, i benefici complessivi di un sistema CAD sulla prestazione diagnostica di un lettore sono probabilmente legati a come il singolo lettore interagisce con il programma: lettori con poca esperienza in CV sono più influenzabili dai candidati

proposti da un CAD rispetto a lettori con maggiore esperienza, ragione per cui l'utilizzo di un sistema CAD non può prescindere da un adeguato addestramento in CV [33].

Letture assistita dal CAD

La modalità di lettura assistita dal CAD, o in simultanea, è più efficiente rispetto all'uso del paradigma secondo lettore, in quanto riduce i tempi di lettura [19, 20]. Infatti, con la modalità assistita, il radiologo effettua la lettura dell'esame di CV sul quale sono già presenti le segnalazioni del CAD, come reperi grafici o sotto forma di una diversa colorazione della mucosa nelle immagini 3D.

I dati provenienti dall'applicazione di tale paradigma di lettura in diagnostica senologica e polmonare hanno però messo in evidenza come la simultanea visualizzazione delle marcature del CAD sulle immagini da esaminare riduca l'attenzione del radiologo, perché distratto dalle marcature proposte dal CAD, inficiandone la sensibilità [34, 35]. In realtà, uno studio di confronto tra paradigmi di lettura in simultanea e secondo lettore in CV sembra evidenziare solo una modesta riduzione della sensibilità del primo paradigma rispetto al secondo (81% vs 83%), a fronte di una significativa riduzione dei tempi di lettura con la modalità di lettura assistita [21]. Anche nella modalità di lettura in simultanea l'effetto benefico del CAD sembra essere più evidente per i lettori meno esperti [20].

Consigli per un corretto utilizzo del CAD

L'integrazione di schemi CAD su stazioni di lavoro dotate di software per la colonscopia virtuale è alle porte. Infatti, già oggi molte aziende propongono CAD per la CV in aggiunta al software di elaborazione e visualizzazione. È compito del medico radiologo comprendere come fare buon uso di questo nuovo strumento diagnostico e quale sia il prodotto più adatto alle sue esigenze. Per garantire buoni flussi di lavoro, il sistema CAD dev'essere quanto più possibile integrato nella stazione di visualizzazione. Inoltre, è indispensabile che lo strumento consenta la visualizzazione contemporanea delle immagini 2D e 3D e che la marcatura del CAD sia visibile in modo chiaro, ad esempio con una colorazione diversa da quella dell'interfaccia ariamucosa normale. Il sistema deve poter anche fornire un elenco di candidati per ciascuna proiezione; i candidati listati sull'elenco devono poter essere classificati in strutture normali o patologiche. Infine, è auspicabile che il sistema CAD funzioni bene anche su esami eseguiti con la marcatura fecale e che quin-

di sia dotato di un software per la pulizia elettronica.

Si consiglia di utilizzare il CAD con il paradigma secondo lettore. In questo modo è come se l'esame di CV venisse letto due volte con il consenso tra il primo e il secondo radiologo, in analogia a quanto avviene per le indagini di mammografia eseguite in un programma di screening. Con questa modalità di lettura è dimostrato un miglioramento del tasso d'identificazione delle lesioni neoplastiche, sicuramente più pronunciato per i lettori meno esperti. È possibile che il radiologo, specie se principiante, sia indotto in errore dal CAD quando questo indica candidati che non sono polipi, aumentando il numero di falsi positivi e quindi il tasso d'invio alla colonscopia convenzionale. Tale effetto negativo del CAD non è chiaramente dimostrato e comunque avviene probabilmente quando il numero di candidati proposto è alto, circa oltre i 10, e quando non si faccia uso della marcatura fecale. È noto, infatti, che la marcatura fecale riduce il numero di candidati polipi "insidiosi", quali per l'appunto le feci non marcate, spesso indistinguibili dai polipi.

È da tenere in conto che l'utilizzo del CAD come secondo lettore migliora le prestazioni diagnostiche, ma allunga i tempi di lettura. Una normalizzazione dei tempi di lettura potrebbe verificarsi con un uso quotidiano del CAD, poiché un aumento della fiducia del radiologo in questo strumento potrebbe convincerlo a soffermarsi di meno sulla fase di lettura non assistita.

Gli altri paradigmi di lettura non sono ancora stati sufficientemente testati e vanno utilizzati con cautela, possibilmente nell'ambito di protocolli di ricerca. Con il paradigma di lettura in simultanea il radiologo potrebbe concentrarsi troppo sui candidati evidenziati dal CAD, troppo poco sul resto del colon, e questo potrebbe portare al mancato riconoscimento di lesioni non marcate. Utilizzando il paradigma primo lettore, il rischio di non visualizzare reperti importanti è ancora maggiore, in quanto la superficie colica verrebbe analizzata solo nei punti messi in evidenza dal CAD.

Bibliografia

1. Huo Z, Giger ML, Vyborny CJ et al (1995) Analysis of speculation in the computerized classification on mammographic masses. *Med Phys* 22:1569-1579
2. Chan HP, Sahiner B, Helvie MA et al (1999) Improvement of radiologists' characterization of mammographic masses by computer-aided diagnosis: an ROC study. *Radiology* 212:817-827
3. Saba L, Caddeo G, Mallarini G (2007) Computer-aided detection of pulmonary nodules in computed tomography: analysis and review of the literature. *J Comput Assist Tomogr* 31:611-619

4. Katsuragawa S, Doi K (2007) Computer-aided diagnosis in chest radiography. *Comput Med Imaging Graph* 31:212-223
5. Li Q (2007) Recent progress in computer-aided diagnosis of lung nodules on thin-section CT. *Comput Med Imaging Graph* 31:248-257
6. Fenton JJ, Taplin SH, Carney PA et al (2007) Influence of computer-aided detection on performance of screening mammography. *N Engl J Med* 356:1399-1409
7. Frost & Sullivan (2006) U.S. Medical imaging Computer-Aided Detection (CAD) Markets. www.frost.com: market engineering research; pubblicato il 27 giugno 2006
8. Yoshida H, Dachman AH (2004) CAD techniques, challenges, and controversies in computed tomographic colonography. *Abdom Imaging* 30:26-41
9. Pickhardt PJ, Choi JH (2003) Electronic cleansing and stool tagging in CT colonography: advantages and pitfalls with primary three-dimensional evaluation. *AJR* 181:799-805
10. Zalis ME, Perumpillichira J, Hahn PF (2004) Digital subtraction bowel cleansing for CT colonography using morphological and linear filtration methods. *IEEE Trans Med Imaging* 23:1335-1343
11. Taylor SA, Laghi A, Lefere P et al (2007) European Society of Gastrointestinal and Abdominal Radiology (ESGAR): consensus statement on CT colonography. *Eur Radiol* 17:575-579
12. Yoshida H, Nappi J (2007) CAD in CT colonography without and with oral contrast agents: progress and challenger. *Comput Med Imaging Graph* 31:267-284
13. Halligan S, Taylor SA, Dehmshki J et al (2006) Computer-assisted detection for CT colonography: external validation. *Clin Radiol* 61:758-763
14. Yoshida H, Nappi J, MacEaney P et al (2002) Computer-aided diagnosis scheme for detection of polyps at CT colonography. *Radiographics* 22:963-979
15. Mani A, Napel S, Paik DS et al (2004) Computer tomography colonography. Feasibility of computer-aided polyp detection in a "first reader" paradigm. *J Comput Assist Tomogr* 28:318-326
16. Bogoni L, Cathier P, Dundar M et al (2005) Computer-aided detection (CAD) for CT colonography: a tool to address a growing need. *Br J Radiol* 78:S57-S62
17. Summers R, Jianha Y, Pickhardt PJ et al (2005) Computed tomographic virtual colonoscopy computer-aided polyp detection in a screening population. *Gastroenterology* 129:1832-1844
18. Taylor SA, Halligan S, Burling D et al (2006) Computer-assisted reader software versus expert reviewers for polyp detection on CT colonography. *AJR Am J Roentgenol* 186:696-702
19. Taylor SA, Halligan S, Slater A et al (2006) Polyp detection with CT colonography: primary 3D endoluminal analysis versus primary 2D transverse analysis with computer-assisted reader software. *Radiology* 239:759-767
20. Halligan S, Altman DG, Mallet S et al (2006) Computer tomographic colonography: assessment of radiologist performance with and without computer-aided detection. *Gastroenterology* 131:1690-1699
21. Taylor SA, Charman SC, Lefere P et al (2007) CT colonography: investigation of the optimum reader paradigm by using computer-aided detection software. *Radiology* 246:463-471
22. Mang T, Peloschek P, Plank C et al (2007) Effect of computer-aided detection as a second reader in multi-detector-row CT colonography. *Eur Radiol* 17:2598-2607
23. Petrick N, Haider M, Summers RM et al (2008) CT colonography with computer-aided detection as a second reader: observer performance study. *Radiology* 246:148-156
24. Mulhall BP, Veerappan GR, Jackson JL (2005) Meta-analysis: computed tomographic colonography. *Ann Intern Med* 142:635-650
25. Robinson C, Halligan S, Taylor SA et al (2008) CT colonography: a systematic review of standard of reporting for studies of computer-aided detection. *Radiology* 246:426-433
26. Doshi T, Rusinak D, Halvorsen RA et al (2007) CT colonography: false-negative interpretations. *Radiology* 244:165-173
27. Summers R, Jerebko AK, Franaszek M et al (2002) Colonic polyps: complementary role of computer-aided detection in CT colonography. *Radiology* 225:391-399
28. Johnson KT, Fletcher JG, Johnson CD (2007) Computer-aided detection (CAD) using 360° virtual dissection: can CAD in a first reviewer paradigm be a reliable substitute for primary 2D or 3D search? *AJR Am J Roentgenol* 189:172-176
29. Näppi JJ, Frimmel H, Dachman AH et al (2004) Computerized detection of colorectal masses in CT colonography based on fuzzy merging and wall-thickening analysis. *Med Phys* 31:860-872
30. Luboldt W, Tryon C, Kroll M et al (2005) Automated mass detection in contrast-enhanced CT colonography: an approach based on contrast and volume *Eur Radiol* 15:247-253
31. Baker M, Bodoni L, Obuchowski NA et al (2007) Computer-aided detection of colorectal polyps: can it improve sensitivity of less experienced readers? Preliminary findings. *Radiology* 245:140-149
32. Campanella D, Correale L, Cassinis MC et al (2007) CT colonography (CTC) using different theoretical computer-aided detection (CAD) software: influence of false positive (FP) prompts number on experienced readers' performance: preliminary results. *Abstract book RSNA 2007*:490
33. Taylor SA, Burling D, Roddie M et al (2008) Computer-aided detection (CAD) for CT colonography: incremental benefit of observer training. *Br J Radiol* 81:180-186
34. Zheng B, Swensson RG, Golla S et al (2004) Detection

and classification performance levels of mammographic masses under different computer-aided detection cueing environments. *Acad Radiol* 11:398-406

35. Beyer F, Zierott L, Fallenberg EM et al (2007) Com-

parison of sensitivity and reading time for the use of computer-aided detection (CAD) of pulmonary nodules at MDCT as concurrent or second reader. *Eur Radiol* 17:2941-2947