

Abstract

Caratterizzazione fisica e dosimetrica di una TC Dual-Energy fast kVp switch

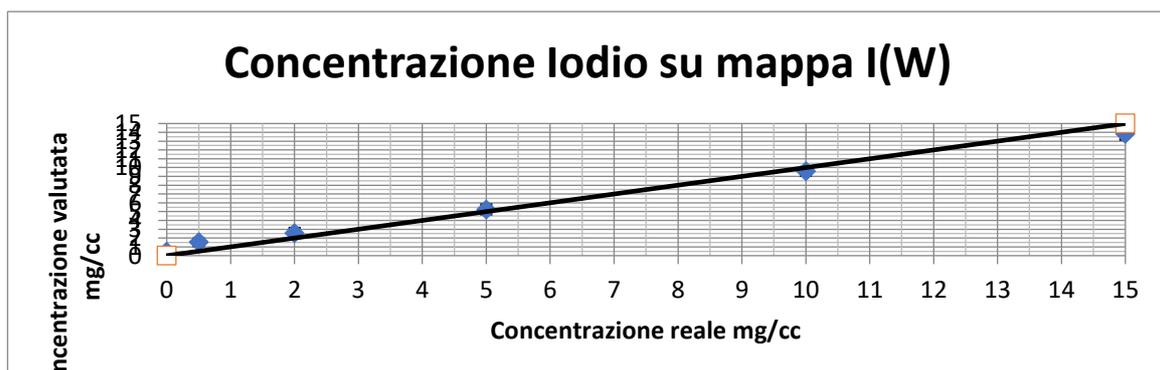
Loris Li Donni

Scuola di Specializzazione in Fisica Medica, Università degli Studi di Torino
A.O.U. Città della Salute e della Scienza di Torino

Purpose: L'elaborato si propone di presentare i risultati delle misure di caratterizzazione effettuate sul tomografo GE Revolution ES installato presso la Radiologia 2 della Città della Salute di Torino sede Molinette. In particolare, tramite l'acquisizione di immagini del fantoccio CIRS Multi-Energy CT QA (MECT) è stata valutata la capacità di differenziazione dei tessuti e di diversi agenti di contrasto, inoltre, è stato verificato il corretto riconoscimento di concentrazione di agenti di contrasto. Sono state effettuate valutazioni sui parametri di acquisizione e sugli indicatori dosimetrici dei diversi protocolli utilizzati. Infine, sono state effettuate valutazioni di dose al paziente per gli esami più ricorrenti.

Methods and materials: Per realizzare le scansioni è stato utilizzato lo scanner GE Revolution ES, realizzato dalla GE Healthcare e installato presso la Radiologia 2 sede Molinette della Città della Salute di Torino. Questo fa parte di una nuova generazione di scanner CT e permette di realizzare esami di imaging ad alta definizione riducendo, allo stesso tempo, la dose richiesta di radiazione, grazie al sistema ASIR-V. Inoltre, consente la realizzazione di sequenze CT che vanno oltre la classica valutazione anatomica, grazie alla caratterizzazione quantitativa del tessuto. Viene utilizzato il fantoccio CIRS Multi-Energy CT QA (MECT) che offre la possibilità di valutare la differenziazione di tessuti e di diversi agenti di contrasto in base alla loro attenuazione lineare alle diverse energie dei raggi X. Inoltre, permette la verifica del riconoscimento di concentrazione di agenti di contrasto. Il fantoccio facilita la valutazione delle prestazioni dello scanner consentendo agli utenti di verificare l'accuratezza quantitativa delle scansioni multi-energia, verificare la presenza di artefatti in un campo visivo esteso. Il fantoccio utilizzato per le misurazioni che sono state effettuate presenta una serie di cinque inserti di iodio in sangue a concentrazioni crescenti, sei inserti di calcio acqua a concentrazioni crescenti, inserti equivalenti di tessuto muscolare e adiposo. Tutti gli inserti contengono un target centrale di diametro di 25.4 mm all'interno di Plastic Water e possono essere posizionati in diciassette posizioni diverse. Per la valutazione di dose è stato utilizzato PHYSICO, una piattaforma web per la gestione informatizzata e dematerializzata dell'intero workflow dei servizi di Fisica Sanitaria. Un unico applicativo di raccolta, gestione, elaborazione ed archiviazione digitale delle informazioni. Il sistema è in grado di recuperare i dati dosimetrici ed esposimetrici da qualsiasi sorgente (PACS, apparecchiature diagnostiche, lettori DAP, ecc.). Inoltre, fornisce strumenti per la valutazione dei LDR e consente la stima di Dose Efficace e Dose Organo con metodi allo stato dell'arte e con algoritmi configurabili dall'utente, inoltre è valutabile la dose agli organi mediante l'utilizzo di un'ampia famiglia di fantocci antropomorfi, ottenuti con metodi di calcolo Montecarlo

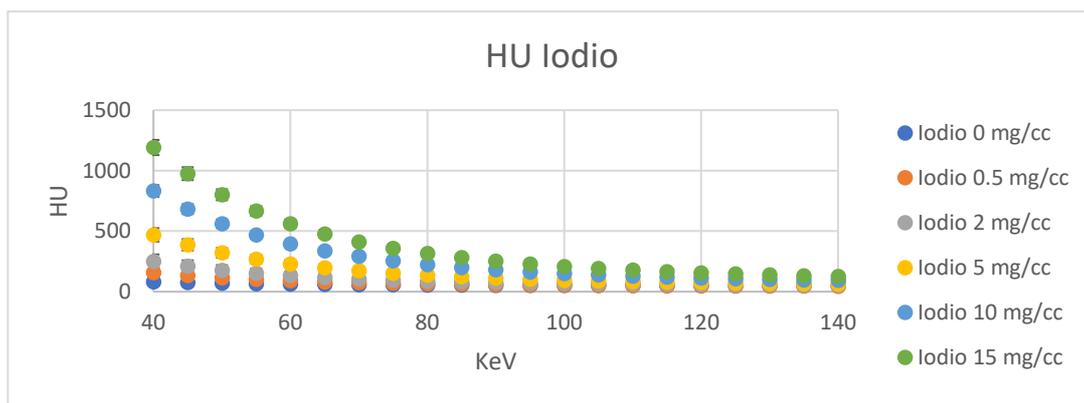
Results: Dall'acquisizione del fantoccio CIRS sono state ricavate le mappe di iodio e di calcio; di seguito i risultati ottenuti sui vari inserti del fantoccio con diverse ricostruzioni.



Come si evince dal grafico, la stima della concentrazione di iodio risulta particolarmente accurata nell'intervallo 2-10 mg/cc. Per concentrazioni più basse risulta sovrastimata, mentre per concentrazioni più elevate risulta sottostimata. Il sistema non rivela iodio su campioni d'acqua, adipe, muscolo ed aria. Per verificare l'efficacia nella sottrazione dello iodio all'immagine sono state eseguite misure su mappa di acqua(I). di seguito i risultati:

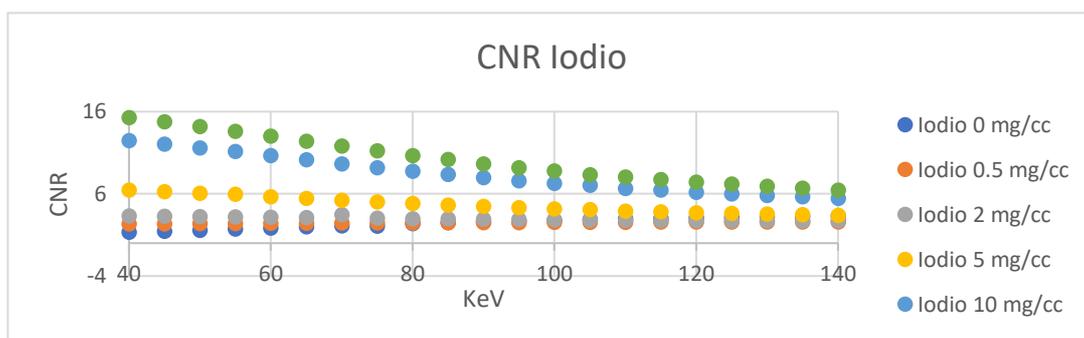


Come si evince dalla precedente figura il sistema di sottrazione dello iodio risulta efficace, infatti, le concentrazioni (densità) d'acqua risultano avere un valore pressoché costante al variare della concentrazione di iodio. Analogamente a quanto effettuato per lo iodio, sono state eseguite misure su mappa di Calcio. Sono state ricostruite le immagini monoenergetiche da 40 a 140 keV a step di 5 keV. Di seguito si riportano i valori in HU degli inserti del Fantoccio



Al fine di valutare la qualità dell'immagine sono stati valutati i valori di CNR, ovvero il rapporto contrasto rumore nei vari inserti; le ROI hanno dimensioni di 36mm².

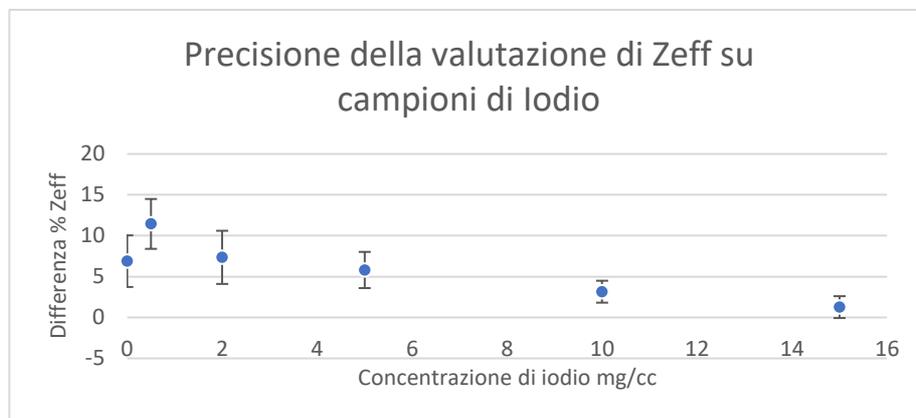
$$CNR = \frac{\langle PV \rangle_{inserto} - \langle PV \rangle_{fondo}}{\sqrt{\langle SDPV \rangle_{fondo}^2 + \langle SDPV \rangle_{inserto}^2}}$$



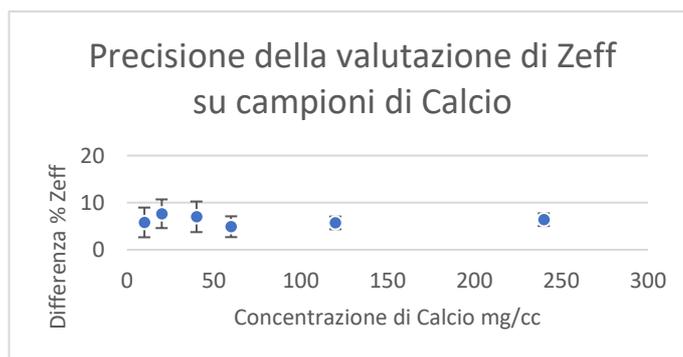
Il valore di CNR, come quello del contrasto e del SR (rapporto segnale rumore), diminuisce con l'aumentare

dell'energia; ciò lascerebbe pensare ad una migliore qualità dell'immagine alle energie più basse, ma va preso in considerazione anche il rumore che è più elevato alle basse energie. Sono state effettuate valutazioni su ricostruzioni con diverse percentuali di ASIR. Da questo studio non emerge un valore assoluto di energia ottimale al quale fare le ricostruzioni.

Nei seguenti grafici si riportano le differenze percentuali tra i valori attesi di Z_{eff} e quelli misurati.

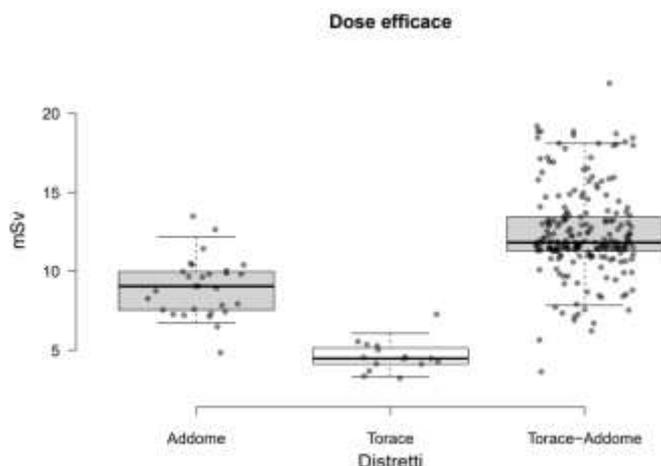


Differenza percentuale tra la Z_{eff} misurata e quella attesa in campioni di iodio a varie concentrazioni



Differenza percentuale tra la Z_{eff} misurata e quella attesa in campioni di calcio a varie concentrazioni

Di seguito i valori di dose efficace valutati con Physico.



Conclusion: La stima della concentrazione di iodio e di calcio risultano particolarmente accurata fatta eccezione per concentrazioni molto elevate o molto basse, mantenendo comunque una coerenza. Lo strumento

di valutazione delle concentrazioni deve essere utilizzato sulla base di una distribuzione nota del materiale e può essere supportato dagli strumenti di discriminazione dei materiali. Il sistema di sottrazione dello iodio risulta efficace dimostrando quindi l'affidabilità di ricostruzione di immagini virtuali no contrast.

Per quanto riguarda le ricostruzioni monoenergetiche, come ci si aspetta, il valore di CNR come quello del contrasto e del SR, diminuisce con l'aumentare dell'energia; mentre il rumore diminuisce all'aumentare dell'energia di ricostruzione. Dunque, non emerge un valore assoluto di energia ottimale al quale fare le ricostruzioni; questo dipende da ciò che il medico ha interesse a visualizzare e dal contesto. Se è necessario far risaltare regioni a basso contrasto sarà necessaria una ricostruzione a bassa energia, se serve un'immagine con meno rumorosa bisogna ricostruzione a più alta energia.

Nei campioni di acqua e adipi la misurazione di Z_{eff} risulta coerente con i valori attesi, mentre su iodio e calcio, come anche sul tessuto muscolare, risultano maggiori, fatta eccezione per il campione con concentrazione di iodio più elevata (15mg/cc).

Per quanto riguarda la dose al paziente in procedure di acquisizione dual energy, questa è confrontabile con quella di un'acquisizione tradizionale ma, considerando l'intero esame, nel caso in cui si optasse per la non esecuzione dell'acquisizione basale utilizzando la ricostruzione virtuale senza contrasto, si avrebbe una riduzione fino al 50% della dose.

References

1. J.T. Bushberg, J.A. Seibert, E.M. Leidholdt, and J.M. Boone. *The Essential Physics of Medical Imaging*. Wolters Kluwer Health, 2011.
2. J. Beutel, R. Van Metter, and H. Kundel. *Handbook of Medical Imaging, Volume 1-Physics and Psychophysics*. SPIE, 2000
3. H.E. Martz, C.M. Logan, D.J. Schneberk, and P.J. Shull. *X-Ray Imaging: Fundamentals, Industrial Techniques and Applications*. CRC Press, 2016
4. P.P. Dendy and B. Heaton. *Physics for Diagnostic Radiology*. CRC Press, 2011.
5. L. Faggioni, F. Paolicchi, and E. Neri. *Elementi di tomografia computerizzata*. Springer, 2010
6. T. Flohr. *Ct systems*. *Current Radiology Reports*, 2013
7. H. Jiang, J. Vartuli, and C. Vess. *Gemstone—The Ultimate Scintillator for Computed Tomography*. Technical report, GE Healthcare, 2017
8. J. Fan, M. Yue, and R. Melnyk. *Benefits of ASiR-V reconstruction for reducing patient radiation dose and preserving diagnostic quality in CT exams*. Technical report, GE Healthcare, 2014.
9. GE Healthcare. *Revolution HD*. <https://www.gehealthcare.co.uk/products/computed-tomography/revolution-family/revolution-hd>.
10. *Fondamenti di dosimetria delle radiazioni ionizzanti*, R.F. Laitano ENEA, 4^a edizione, 2015.
11. W.G. Hyun and M.G. Jin. *Dual-Energy CT: New Horizon in Medical Imaging*. *Korean J Radiol.*, 2017
12. GE Healthcare. *Revolution GSI*. Technical report, 2014
13. N. Rassouli, M. Etesami, A. Dhanantwari, and P. Rajiah. *Detector-based spectral ct with a novel dual-layer technology: principles and applications*. *Insights into imaging*, 2017
14. Joel Larsson. *The use of dual-energy in computed tomography—a study of the first installed clinical ct using fast kv-switching at a children's hospital*. Master's thesis, Sahlgrenska University Hospital, 2010.
15. T.R.C. Johnson, C. Fink, S.O. Schönberg, and M.F. Reiser. *Dual Energy CT in Clinical Practice*. Springer, 2011
16. P. De Marco and D. Origi. *New adaptive statistical iterative reconstruction ASiR-V: Assessment of noise performance in comparison to ASiR*. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 2018.
17. L. H. Chen, C. Jin, J. Y. Li, G. L. Wang, Y. J. Jia, H. F. Duan, N. Pan, and J. Guo. *Image quality comparison of two adaptive statistical iterative reconstruction (ASiR, ASiR-V) algorithms and filtered back projection in routine liver CT*. *British Journal of Radiology*, 2018.
18. Goo HW, Goo JM. *Dual-Energy CT: New Horizon in Medical Imaging*. *Korean J Radiol.* 2017 Jul-Aug;18(4):555-569
19. McCollough CH, Leng S, Yu L, Fletcher JG. *Dual- and Multi-Energy CT: Principles, Technical Approaches, and Clinical Applications*. *Radiology*. 2015 Sep;276(3):637-53.
20. Alvarez RE, Macovski A. *Energy-selective reconstructions in X-ray computerized tomography*. *Phys Med Biol.* 1976 Sep;21(5):733-44
21. Masetti S. *Sviluppo di un tomografo multi-energy per lo studio pre-clinico di nuove metodiche diagnostiche finalizzate al riconoscimento precoce della patologia tumorale*, Dottorato di Ricerca in Fisica, 2008, Università di Bologna, capitolo 1, pp 18-24. PDF.
22. Rassouli N, Etesami M, Dhanantwari A, Rajiah P. *Detector-based spectral CT with a novel dual layer technology: principles and applications*. *Insights Imaging*. 2017 Dec;8(6):589-598.
23. Chou H, Chin TY, Peh WC. *Dual-energy CT in gout - A review of current concepts and applications*. *J Med Radiat Sci.* 2017 Mar;64(1):41-51.
24. Forghani R, De Man B, Gupta R. *Dual-Energy Computed Tomography: Physical Principles, Approaches to Scanning, Usage, and Implementation: Part 1*. *Neuroimaging Clin N Am.* 2017 Aug;27(3):371-384.
25. M. Jinzaki, Y. Tanami, H. Sugiura, M. inoue, S. Koga, Y. Yamada, S. Kuribayashi. *Potential clinical usefulness and limitation of fast kV switch Dual energy CT*. 2011. *Electronic Presentation Online System (EPOS tm)*, C-1859.
26. T.R.C. Johnson, C. Fink, S.O. Schönberg, and M.F. Reiser. *Dual Energy CT in Clinical Practice*. Springer, 2011.
27. A.C. Kak, M. Slaney, and G. Wang. *Principles of computerized tomographic imaging*. *Medical Physics*, 2002.

28. D. Giantsoudi, B. De Man, J. Verburg, A. Trofimov, Y. Jin, G. Wang, L. Gjestebj, and H. Paganetti. *Metal artifacts in computed tomography for radiation therapy planning: Dosimetric effects and impact of metal artifact reduction. Physics in Medicine and Biology*, 2017
29. ICRP. *Annals of the ICRP Published on behalf of the International Commission on Radiological Protection. ICRP*, apr. 2007.
30. *Med. Phys.* 39 (4), April 2012 0094-2405/2012/39(4)/2129 /18/\$30.00; "Organ doses for reference pediatric and adolescent patients undergoing computed tomography estimated by Monte Carlo simulation": Choonsik Lee: Division of Cancer Epidemiology and Genetics, National Cancer Institute, National Institute of Health, Bethesda, Maryland 20852; Kwang Pyo Kim: Department of Nuclear Engineering, Kyung Hee University, Gyeonggi-do, Korea 446906; Daniel J. Long and Wesley E. Bolch: J. Crayton Pruitt Family Department of Biomedical Engineering, University of Florida, Gainesville, Florida 32611.
31. *Med. Phys.* 41 (7), July 2014 0094-2405/2014/41(7)/072104 /12/\$30.00); Patient-based estimation of organ dose for a population of 58 adult patients across 13 protocol categories: "Pooyan Sahbaee Carl E. Ravin Advanced Imaging Laboratories, Department of Radiology, Duke University Medical Center, Durham, North Carolina 27705 and Department of Physics, North Carolina State University, Raleigh, North Carolina 27607 - W. Paul Segars Carl E. Ravin Advanced Imaging Laboratories, Department of Radiology, Medical Physics Graduate Program, Duke University Medical Center, Durham, North Carolina 27705 - Ehsan Samei Carl E. Ravin Advanced Imaging Laboratories, Department of Radiology, Medical Physics Graduate Program, Department of Physics, Electrical and Computer Engineering, and Biomedical Engineering, Duke University Medical Center, Durham, North Carolina 27705"
32. Johnson TR. Dual-energy CT: general principles. *AJR Am J Roentgenol.* 2012 Nov;199(5 Suppl):S3-8.