

La Tenuta di Castelporziano (Roma): correlazione fra indagini mineralogico-petrografiche ed immagini Hyperion.

Massimo MUSACCHIO (*), Stefano DONÀ (**), Claudio MAZZOLI (**), Saverio DEVOTI (***),
Sergio SILENZI (***), Fabrizia BUONGIORNO (*)

* INGV, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Via Vigna Murata 605, 00143 Roma, Italia.

** Dipartimento di Mineralogia e Petrografia, Università di Padova, C.so Garibaldi 37, 35137 Padova, Italia.

*** ICRAM, Unità Cambiamenti Climatici e Studi Costieri, Via Casalotti 300, 00166 Roma, Italia.

Riassunto

Il presente lavoro si prefigge di verificare la capacità di riconoscere le specie mineralogiche che compongono i sedimenti della spiaggia emersa della Tenuta Presidenziale di Castelporziano (Roma) attraverso dati iperspettrali da piattaforma satellitare.

A tal fine è stato condotto uno studio preliminare sulla composizione minero-petrografica dei campioni raccolti su un'unità omogenea di territorio (microscopia ottica, SEM, EMPA). I dati ottenuti sono stati comparati con circa 300 misure di laboratorio effettuate con lo spettrometro ASD-Fieldspec (lunghezze d'onda VNIR-SWIR) sugli stessi campioni. A queste si sono affiancate misure spettrali eseguite in condizioni ambiente.

Tale approccio metodologico apre nuove possibilità nell'utilizzo delle immagini iperspettrali per la classificazione delle spiagge e per la valutazione della compatibilità ambientale dei sedimenti nelle opere di ripascimento.

Abstract

In this paper the capability to identify mineral association composing the sand of the Tenuta Presidenziale di Castelporziano emerged beach, using hyperspectral data is shown.

In order to define the mineralogical composition of the collected sample, SEM EMPA (Scanning Electron Microscopy and Electron MicroProbe Analyser) and optical polarizing microscopy analysis have been done. Results have been compared with 300 measurements performed directly on the Tenuta Presidenziale di Castelporziano sand and 300 measurement acquired in the laboratory, both using an ASD-Fieldspec

This methodological approach illustrate the high potential of hyperspectral remote sensing for the classification of the beaches and for the evaluation of beach nourishment

Introduzione

Nel monitoraggio e nella stima del danno ambientale e nella valutazione del rispetto di opportune proprietà paesaggistiche degli interventi di ripascimento è essenziale conoscere la composizione e la variabilità minero-petrografica e granulometrica dei sedimenti che caratterizzano un litorale. Tuttavia, in un territorio come quello italiano, il notevole sviluppo delle coste basse lungo i litorali nazionali (circa 4000 chilometri) rendono costosa se non irrealizzabile la creazione di una banca dati sufficientemente dettagliata relativa alle caratteristiche intrinseche dei sedimenti di spiaggia, tale da costituire una sorta di carta d'identità delle stesse. Una possibile alternativa alla creazione di appositi piani di caratterizzazione e monitoraggio attraverso un estensivo campionamento in sito, può essere rappresentata dall'analisi delle firme spettrali delle spiagge rilevate da satellite.

Lo scopo del presente lavoro è stato di sperimentare la capacità di riconoscere le fasi mineralogiche che compongono le sabbie della Tenuta Presidenziale di Castelporziano (TPC; Roma) partendo da

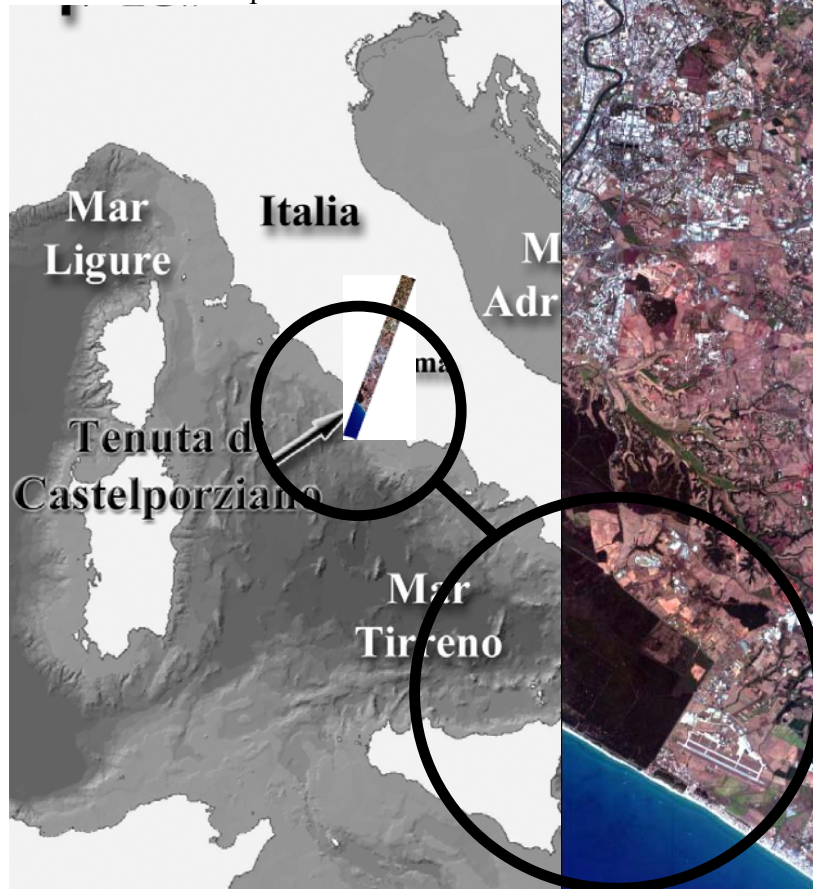
dati iperspettrali telerilevati da piattaforma satellitare, e di riconoscere i limiti di questa tecnica nella caratterizzazione dei depositi costieri.

Area d'indagine

Fisiograficamente l'area della TPC (figura 1) è localizzata all'interno della fascia pedemontana che borda a Ovest l'Appennino centro-settentrionale. Tale fascia è caratterizzata, nel Lazio, da rilievi collinari di origine sedimentaria e vulcanica, con quote che superano di poco i 1000 m e in prevalenza di età plio-pleistocenica, e da pianure alluvionali e costiere di età tardo pleistocenica-olocenica.

Strategia di campionamento

Presso la spiaggia TPC sono stati prelevati campioni di sedimento superficiale (0-3 cm); la scelta dell'area da campionare si è basata sulle conoscenze maturate nell'attività di



monitoraggio dello stato della qualità ambientale dell'ICRAM in essere presso la TPC. Rilievi continui dal 2004 (Silenzi *et al.*, 2006) hanno permesso di caratterizzare questo tratto costiero come preservato rispetto alle zone con elevata densità di strutture turistiche, così da poter ottenere dei campioni non contaminati da materiale di origine antropica. I punti di prelievo, disposti lungo un quadrilatero di 20 m di lato (maglia di campionamento 3x3 campioni), sono stati georeferenziati, definendo così una maglia quadrata facilmente individuabile nelle immagini da satellite.

Figura. 1. Localizzazione dell'area di studio presso la Tenuta Presidenziale di Castel Porziano.

Caratterizzazione granulometrica e mineralogico-petrografica

Per la caratterizzazione granulometrica, ogni campione è stato pretrattato per l'eliminazione della sostanza organica e dei sali; successivamente la frazione $> 63 \mu\text{m}$ è stata vagliata utilizzando un setacciatore meccanico, mentre la frazione $< 63 \mu\text{m}$ è stata analizzata mediante sedigrafo a raggi X.

La caratterizzazione mineralogico-petrografica è stata condotta mediante analisi con: 1) microscopia ottica; 2) microscopia elettronica (Scanning Electron Microscopy; SEM); 3) microsonda elettronica (Electron Micro-Probe Analysis; EMPA).

La prima analisi ha permesso un preliminare riconoscimento delle principali fasi mineralogiche presenti: quarzo, calcite, k-feldspato, plagioclasio, clinopirosseno, ortopirosseno, ossidi. I risultati così ottenuti sono stati successivamente utilizzati per guidare le indagini col SEM. Queste ultime hanno permesso di ottenere sei mappe elementari per ognuno degli elementi chimici considerati e per ognuno dei campioni analizzati. Inoltre, con il sistema EDAX, sono state prodotte analisi

chimiche semiquantitative dei minerali dall'analisi dello spettro a raggi X. L'EMPA ha permesso di ottenere le analisi microchimiche.

Le mappe elementari ottenute al SEM sono state elaborate con il software Petromod (Cossio *et al.*, 2002) per l'individuazione ed il riconoscimento delle diverse fasi presenti nelle sabbie, ed una ulteriore elaborazione di queste immagini con il programma MULTISPEC (Landgrebe e Biehl, 2001) ha permesso di ottenere la distribuzione percentuale delle diverse fasi nei campioni analizzati.

Composizione granulometrica e mineralogica

Dal punto di vista granulometrico, i nove campioni analizzati presentano percentuali di sabbia prossime al 100% e un diametro medio compreso tra 1.72 e 1.84 ϕ che, secondo la scala di Wentworth (1922), corrisponde a Sabbia media (Tabella 1).

Dal punto di vista mineralogico, le fasi preponderanti che compongono il sedimento (Tabella 1) sono costituite da calcite, quarzo e silice amorfa. Frequentemente il quarzo costituisce aggregati policristallini monomineralici. Sono presenti, inoltre, feldspato potassico, plagioclasio e pirosseni, ossidi di Fe e Ti e minerali accessori, quali le apatiti. Sono presenti frammenti di rocce magmatiche effusive legate probabilmente all'attività dei Colli Albani.

	Cp1	Cp2	Cp3	CP4	Cp5	Cp6	Cp7	Cp8	Cp9
Sabbia (%)	99.8	99.8	99.8	99.8	99.8	99.9	99.8	99.8	99.9
Quarzo	32.02	31.16	33.69	37.65	29.98	34.57	32.48	35.24	33,70
Calcite	28.04	29.65	27.50	25.45	26.87	26.35	30.75	29.15	28,45
K-Feldspato	15.70	19.40	18.60	16.64	17.61	18.50	17.38	15.42	18,32
Plagioclasio (%)	13.80	10.18	9.92	9.90	9.92	11.75	9.42	9.85	8.87
Clinopirosseno	7.98	7.10	8.35	9.79	12.90	8.50	7.74	7.65	7.64
Ortopirosseno	0.51	0.60	0.52	0.10	1.44	0.35	0.88	1.30	1.25
Ossidi	2.02	1.93	1.54	1.13	1.25	0.98	1.35	1.39	1.77

Tabella 1. Composizione granulometrica e mineralogica modale percentuale dei nove campioni di sedimento della TCP.

Analisi delle firme spettrali

Il riconoscimento di specie minerali attraverso l'uso di dati iperspettrali telerilevati rappresenta una tecnica già applicata con buoni risultati (Kruse *et al.*, 1999, 2003, Clarck *et al.* 1990).

Con l'immagine satellitare della TCP, ottenuta dal sensore Hyperion, montato sul satellite della NASA EO1 (*Earth Observing 1*), sono state caratterizzate le sabbie nell'intervallo di lunghezze d'onda comprese tra il VNIR (*visible near infrared*) e lo SWIR (*short wave infrared*). L'immagine utilizzata è stata acquisita dal sensore il 21 luglio 2002 alle ore 09.42 locali

L'immagine satellitare della TCP è stata corretta in accordo con quanto descritto in Bogliolo *et al.*, (1998) e Teggi *et al.*, (2005).

Una volta corretta e georeferenziata l'immagine è stato possibile estrarre gli spettri relativi alle aree campionate *in situ* (figura 1) In figura 2 sono riportati gli spettri di 4 differenti pixel adiacenti: con il tratto continuo quello relativo all'area di interesse; in tratteggio quelli relativi a porzioni limitrofe di spiaggia. Il confronto tra questi mostra un andamento spesso sovrapposto, confermando l'elevata omogeneità compositiva delle sabbie campionate, analogamente a quanto ottenuto dalla composizione petrografico-mineralogica. Omogeneità riferibile non solo al tratto di spiaggia campionato ma ad una più estesa zona di litorale

Analizzando la curva spettrale della sabbia e confrontandola con le firme spettrali dei minerali, identificati grazie all'analisi minero-petrografica, è stato possibile identificare i minerali contenenti $(\text{CO}_3)^{2-}$ e Fe quali carbonati e pirosseni.

In figura 3, la curva spettrale della spiaggia viene messa a confronto con quella delle specie minerali riportate in tabella 1. Nello spettro della calcite si riconoscono le bande di assorbimento dovute allo ione carbonato $(\text{CO}_3)^{2-}$ in un intervallo di λ compreso tra 1.8 μm e 2.4 μm . Tali bande sono individuabili anche nella curva spettrale della spiaggia, in particolare alle λ di 1.9950 μm e 2.1550 μm . Sia nello spettro delle sabbie che in quello della calcite si osserva una diminuzione della riflettanza per $\lambda = 0.65 \mu\text{m}$.

Dall'analisi petrografica risulta che i pirosseni più comuni nelle sabbie sono clinopirosseni (cpx), generalmente con un elevato contenuto in Ca (augiti), per i quali diagnostici sono gli assorbimenti prossimi a valori di λ di 0.95 μm e di 1.15 μm , dovuti alle transizioni di campo cristallino del Fe (Burns, 1993) e gli ortopirosseni (opx) per i quali sono diagnostiche due bande centrate a sui valori di λ pari a 0.9 μm e 1.9 μm , rispettivamente, e sono attribuite a transizioni di campo cristallino del Fe^{2+} (Cloutis e Gaffey, 1991).

Sempre in figura 3 sono riportate le firme spettrali dell'augite e del diopside (cpx) e sono poste a confronto con lo spettro delle sabbie; dall'andamento generale delle curve spettrali dell'augite e della sabbia, è possibile osservare una generale concordanza. In particolare tra le λ di 0.97 μm e 1.14 μm , e per la lunghezza d'onda di 1.114 μm , sono osservabili degli assorbimenti che sono attribuibili a transizioni di campo cristallino. Infatti, l'assorbimento per $\lambda = 0.661 \mu\text{m}$ potrebbe dipendere dalla presenza proprio del clinopirosseno. Inoltre per valori di λ compresi tra 2.2775 μm e 2.3350 μm l'andamento per la curva spettrale delle sabbie è analoga a quella dell'augite e del diopside. Infine si osserva la firma spettrale per l'enstatite (opx); la banda diagnostica per questo minerale è posta a valori di $\lambda = 0.9 \mu\text{m}$ che risulta evidente anche nella curva spettrale delle sabbie.

Per quanto riguarda quarzo, feldspato potassico e plagioclasio l'individuazione di caratteristiche nella curva spettrale della sabbia risulta difficile in quanto le firme spettrali dei relativi minerali non mostrano assorbimenti caratteristici, come nel caso del Fe^{2+} .

Confronto tra le misure in situ, quelle di laboratorio e l'immagine Hyperion

Sui 9 campioni prelevati dal sito di campionamento nella TCP (figura 1) sono stati misurati 300 spettri di riflettanza in laboratorio. Questi sono stati misurati con lo spettrometro ASD-Fieldspec nel range spettrale VNIR-SWIR. Con questo strumento sono stati acquisiti 300 spettri di riflettanza direttamente sulle sabbie della TPC.

Dalle curve così ottenute è stato calcolato lo spettro medio delle misure in laboratorio e lo spettro medio delle misure in situ (figura 6) è poi confrontato con quello estratto dall'immagine Hyperion della TCP (figura 6). L'analisi delle firme spettrali medie mette in evidenza, per entrambe, una elevata omogeneità spettrale, coerentemente con quanto ottenuto dall'analisi mineralogica e granulometrica (tabella 1).

Ad un elevato accordo tra la curva spettrale di Hyperion e le curve spettrali misurate *in situ* non corrisponde un'altrettanto buona corrispondenza con le misure di laboratorio relativamente ai valori di riflettanza. Questa differenza è fortemente condizionata dalla dimensione del campione misurato ed anche alle condizioni di illuminazione meno omogenee rispetto a quelle naturali: Bogliolo *et al.* (2004), evidenziano come per i campioni che sono caratterizzati dalla contemporanea presenza di numerose fasi, l'analisi dello spettro effettuato su una superficie ridotta di campione tende a produrre spettri non particolarmente rappresentativi dello spettro satellitare relativo al *pixel* di riferimento.

Conclusioni

Il sensore iperspettrale Hyperion si è dimostrato un valido strumento per la caratterizzazione petrografico-mineralogica della spiaggia emersa della TPC. Il confronto fra le firme spettrali e le analisi di laboratorio ha permesso di stabilire per quest'area le caratteristiche di variabilità laterale

nella composizione del sedimento, rendendo così fattivo il riconoscimento delle proprietà composizionali.

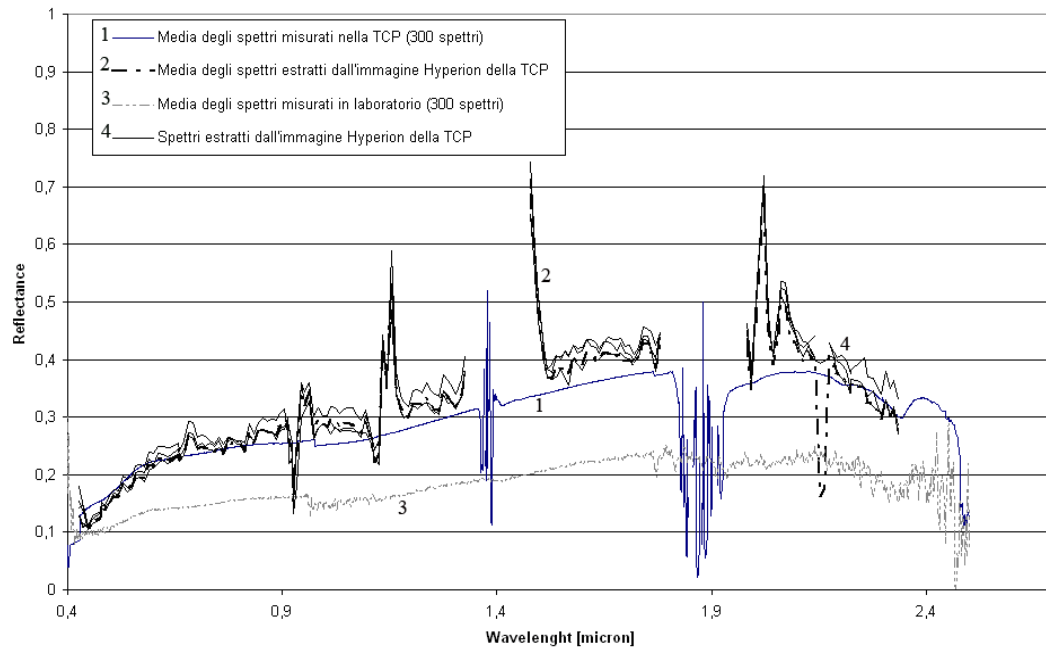


Figura 2: Confronto tra le curve spettrali misurate in situ (continue, 1), le curve spettrali delle sabbie della TCP ottenute dall'analisi con ENVI 4.2 dell'immagine di Hyperion (2 la curva spettrale relativa alle analisi di laboratorio (3) e gli spettri relativi ai pixel adiacenti coincidente con l'area campionata della TCP (4).

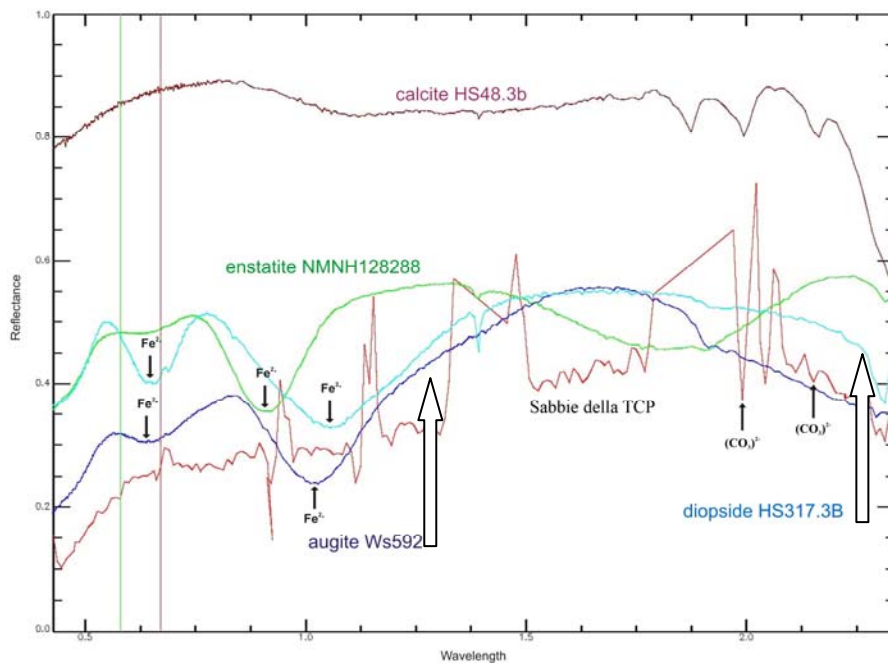


Figura 3: Confronto tra la firma spettrale della sabbia della TCP estratta dall'immagine Hyperion e: la firma spettrale dell'augite; le frecce indicano le bande di assorbimento dovute alla transizione di campo cristallino per il Fe^{2+} diagnostiche per il riconoscimento dei clinopirosseni.; la firma spettrale del diopside; le frecce indicano le bande di assorbimento dovute alla transizione di campo cristallino per il Fe^{2+} . la firma spettrale della calcite,. Nell'intervallo di λ tra 1.8 e 2.4 μm si possono osservare gli assorbimenti dovuti allo ione $(\text{CO}_3)^{2-}$. la firma spettrale dell'enstatite; la freccia indica la banda centrata alla $\lambda = 0.9 \mu\text{m}$ diagnostica per il riconoscimento degli ortopirosseni.

Con la complicità dell'elevata omogeneità, l'approccio presentato in questo lavoro consentirà l'utilizzo potenziale delle firme spettrali nelle attività di monitoraggio della qualità ambientale (dal punto di vista petrografico delle sabbie) e della sua integrità (per es. assenza di sversamenti di materiali di origine antropica o di sedimenti provenienti da altri bacini e/o province sedimentarie, ecc.) della spiaggia della TPC.

Da un punto di vista analitico appare opportuno sottolineare come le immagini spettrali abbiano permesso una più dettagliata identificazione della calcite e dei pirosseni di quanto è stato possibile effettuare in laboratorio.

Nella curva spettrale di Hyperion e nelle misure *in situ* si possono riconoscere le impronte spettrali di calcite, clinopirosseno e ortopirosseno, che non sono altrettanto chiaramente rilevabili negli spettri di laboratorio, anche se ci sono alcuni caratteri che possono essere riconducibili con cautela a queste fasi, soprattutto con riferimento agli assorbimenti presenti tra le lunghezze d'onda 0.9 μm e 1.15 μm . Si osserva invece una maggiore concordanza dei dati tra spettri di misurati e derivati dall'immagine telerilevata per le lunghezze d'onda superiori a 1.9 μm dove si risente maggiormente dei fenomeni di assorbimento dovuti alla presenza del gruppo $(\text{CO}_3)^{2-}$.

Bibliografia

Bogliolo, M.P., Teggi S., Buongiorno M.F., Pugnaghi S., 1998, *Retrieving ground reflectance from MIVIS data: a case study on Vulcano island (Italy)*, Proc. of 1st EARSeL Workshop on IMAGING SPECTROSCOPY, Remote Sensing Lab., Univ. of Zurich, Switzerland, 6-8 October 1998, pp. 403-416.

Bogliolo M. P., Teggi S., Buongiorno M. F., Pugnaghi S., Corradini S., (2004) - *Inspecting MIVIS capability to retrieve chemical-mineralogical information: evaluation and analysis of VNIR-SWIR data acquired on a volcanic area*. Int. J. Remote Sensing, 25, 3769-3797.

Burns R.G., (1993) - *Mineralogical application of crystal field theory*, Second Edition, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 551.

Clark, R. N., King, T. V. V., Klejwa, M., & Swayze, G. A. (1990). High spectral resolution reflectance spectroscopy of minerals. Journal of Geophysical Research, 95(B8), 12:653-12:680.

Cloutis, E. A., and M. J. Gaffey, (1991) *Pyroxene Spectroscopy Revisited: Spectral Compositional Correlations and Relationship to Geothermometry*, J. Geophys. Res., 96, pp. 22,809-22,826

Cossio R., Borghi A., Ruffini R., (2002) - *Quantitative modal determination of geological samples based on X-ray multielemental map acquisition*. Microscopy and Microanalysis, 8, 139-149. *Envi® User's guide (2001)*. Research Systems, Inc.

Kruse, F. A., Boardman, J. W., Huntington, J. F., Mason, P., and Quigley, M.A., (2003), Evaluation and Validation of EO-1 Hyperion for Geologic Mapping: in Special Issue, TGARSS, IEEE trans geosci. Remote Sensing, 41 (6) 1388-1400

Kruse, F. A., Boardman, J. W., and Huntington, J. F., (1999), Fifteen Years of Hyperspectral Data: northern Grapevine Mountains, Nevada in Proceedings of the 8th JPL Airborne Earth Science Workshop: Jet Propulsion Laboratory Publication, JPL Publication 99-17, p. 247 - 258.

Landgrebe D. e Biehl L. (2001) - <http://dynamo.ecn.purdue.edu/~biehl/MultiSpec/>

Teggi S., Musacchio M., Buongiorno M.F. (2005) – *Procedura con interfaccia utente grafica per le correzioni atmosferiche di immagini satellitari*. Atti della 9^o Conferenza Nazionale ASITA, 1927-1932.

Silenzi S. e scientific party. (2006) - *Caratterizzazione chimico-fisica dei sedimenti della costa antistante la Tenuta di Castelporziano (Roma)*. Il Sistema Ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano, Accademia Nazionale delle Scienze, Scritti e Documenti XXXVII, Seconda serie, vol. II, 985-1025.

Wentworth C.K. (1922) - *A scale of grade and class terms for clastic sediments*. Journal of Geology, 30: 377-392.