

Monitoraggio territoriale: confronto tra indici di paesaggio e indici vegetazionali da satellite

Giorgio Roberto Pelassa^(a), Dario Airaud^(b), Sarah Braccio^(a), Jacopo Chiara^(a)

^(a)Regione Piemonte Sett. Progettazione strategica e green-economy – C.so Bolzano 44 Torino- 011/4321429 progettazione.green@regione.piemonte.it ^(b) Regione Piemonte Sett. Infrastrutture, territorio rurale, calamità naturali in agricoltura, caccia e pesca – C.so Stati Uniti 21, Torino – 011/4321483 infrastrutture@regione.piemonte.it

Le sempre più incalzanti necessità di implementazione delle politiche regionali in materia di sviluppo sostenibile e cambiamenti climatici, impongono una generale rivisitazione dei tradizionali sistemi di monitoraggio ambientale. La necessità di valutare “quantità e qualità” del capitale naturale, al fine di rendere la pianificazione paesaggistica e territoriale coerente con gli obiettivi di sostenibilità, ha portato alla diffusione dell’applicazione delle metodologie dell’ecologia del paesaggio. Tali metodologie, benché rappresentino quanto di più avanzato nell’ambito della pianificazione paesaggistica e territoriale, sono affette da alcuni limiti, sia intrinseci alle metodologie stesse, (valutazioni non sempre oggettive delle grandezze ambientali) sia indipendenti da esse, come i costi ed i tempi necessari per campagne di rilevamento di sufficiente accuratezza su ambiti territoriali di scala regionale. Il telerilevamento satellitare, grazie ai dati ora disponibili in forma libera e gratuita, tramite appositi servizi messi a disposizione dall’Agenzia Spaziale Europea (ESA) e da quella Statunitense (NASA), può fornire un valido supporto in quanto in grado di fornire misure oggettive delle grandezze ambientali a scala regionale, con tempi e costi ridotti. Sulla base di queste considerazioni, nel bacino della bassa valle della Stura di Lanzo, area pilota del progetto europeo LOS_DAMA! (*Landscape and Open Space Development in Alpine Metropolitan Areas*), si è voluto effettuare un primo confronto tra i risultati dell’analisi sviluppata secondo i criteri dell’ecologia del paesaggio tramite l’uso dell’indice di biopotenzialità territoriale (BTC), ed i risultati desunti dall’analisi di due specifici indici vegetazionali (NDVI e SAVI). L’obiettivo del confronto è quello di determinare l’efficacia degli indici telerilevati NDVI e SAVI come strumenti di valutazione della “qualità ambientale” di un territorio intesa come capacità di fornire servizi ecosistemici, e la loro comparabilità con l’indice BTC.

La Regione Piemonte, attraverso la Direzione Ambiente, governo e tutela del territorio, Settore Progettazione Strategica e Green Economy, sta partecipando in qualità di partner, al progetto LOS_DAMA! che si propone di comprendere, gestire e valorizzare i paesaggi periurbani e il loro patrimonio naturale e culturale quale parte integrante della rete di infrastrutture verdi dell’intero territorio di Spazio Alpino. Il progetto ha una durata di 36 mesi dal 1 novembre 2016 al 31 dicembre 2019 ed è finanziato nell’ambito del Programma Europeo di cooperazione territoriale Alpine Space 2014-2020.

L'area individuata per dare attuazione al progetto è quella metropolitana torinese su cui insiste il progetto strategico Corona Verde. Obiettivo generale è definire e testare metodi e strumenti efficaci per la pianificazione sostenibile, la progettazione e il monitoraggio delle Blue and Green Infrastructure (GBI). L'approccio multiscale, sviluppato da un team multidisciplinare, è volto al riconoscimento del valore, anche economico, dei molteplici benefici che le GBI erogano ai territori, urbani e non, e ai loro abitanti.

Il lavoro di analisi si compone di diverse fasi:

- ∞ definizione di metodi e strumenti di analisi e valutazione a supporto della pianificazione territoriale e del paesaggio;
- ∞ analisi multiscale e multidisciplinare a tre scale: del territorio del Progetto strategico Corona Verde, dell'area pilota ivi inclusa, delle Unità Paesistico Ambientali (UPA) che compongono l'area pilota;
- ∞ sviluppo di uno strumento per la pianificazione attraverso le GBI;
- ∞ sviluppo di un progetto volto ad incrementare i benefici delle GBI, attraverso le "Nature based Solutions" su tre UPA.

Il metodo è impostato su alcuni principi tratti dalla *landscape ecology*, integrati ai principi di economia ambientale. L'analisi, anche mediante l'uso di indicatori spaziali, individua i più importanti fattori di vulnerabilità e resilienza che caratterizzano i paesaggi della Corona Verde e quelli delle diverse Unità Paesistico Ambientali dell'area pilota.

Gli indicatori utilizzati tra cui la biopotenzialità territoriale (BTC), sono strumenti di analisi spaziale che contribuiscono a definire, per i diversi sistemi o ambiti spaziali, criticità ed esigenze ambientali, possibilità, limiti e cautele di trasformazione, nonché obiettivi pianificazione orientati alla sostenibilità.

Gli indici utilizzati e le elaborazioni

La BTC è utilizzata come indicatore della qualità ambientale di un determinato contesto ed è stata selezionata poichè è un indice inserito sia nel Piano di Monitoraggio del Piano paesaggistico regionale (Ppr), che uno degli indicatori spaziali nell'analisi sulla vulnerabilità dei SE condotte dal progetto LOS_DAMA!.

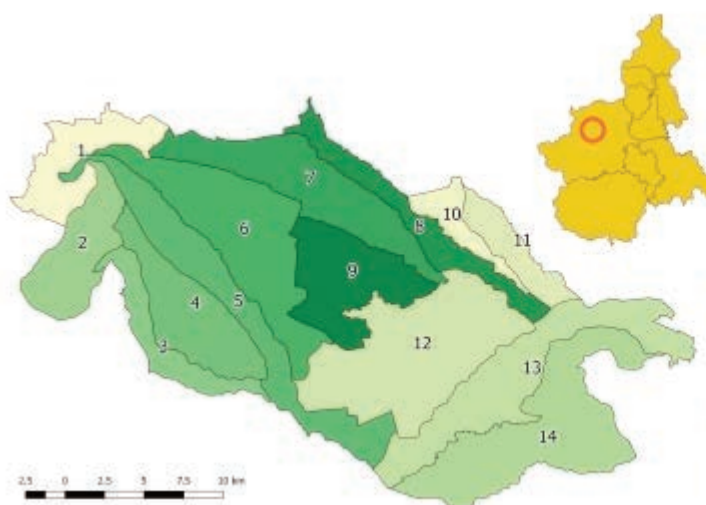


Fig.1 Unità Paesaggistico Ambientali (UPA) che suddividono l'area pilota; 1. Dei paesaggi pedemontani della Val Grande di Lanzo; 2- Dei paesaggi pedemontani di Vallo e Varisella; 3 - Fluviale del Ceronda; 4 - Dei paesaggi terrazzati del Ceronda e della Stura di Lanzo; 5 - Fluviale dello Stura di Lanzo; 6 - Dell'alta pianura; 7 - Della Vauda; 8 - Fluviale del Malone; 9- Della media pianura coltivata; 10 - Media pianura tra Orco e Malone; 11 - Fluviale dell'Orco; 12 - Della media pianura urbanizzata; 13 - Fluviale del Po; 14 - Collina del Po

L'indice di biopotenzialità territoriale (BTC) riassume sinteticamente le condizioni di stato di un territorio, si tratta quindi, di un indice altamente sintetico e dall'elevato contenuto informativo, capace di esprimere il livello di organizzazione e di ordine del sistema ambientale e paesaggistico regionale e quindi la sua propensione alla stabilità. Negli ultimi anni è stato proposto il nuovo concetto di servizi ecosistemici (SE) che come la BTC è utilizzato per definire il "valore ambientale" di un determinato contesto territoriale. I servizi ecosistemici sono definiti come "i benefici multipli forniti dagli ecosistemi al genere umano", pertanto un ambito territoriale con un elevato "valore ambientale" è un contesto in grado di fornire SE. L'obiettivo della comparazione è verificare se esiste una relazione tra l'indice BTC e gli indici vegetazionali NDVI e SAVI, derivati dall'analisi satellitare, proposti per valutare la capacità di un territorio di fornire "servizi ecosistemici" (Ayanu et al. 2012) al fine di ipotizzarne l'uso per il monitoraggio ambientale regionale.

L'uso della Btc all'interno del Piano di Monitoraggio del Ppr segue un procedimento con molteplici fasi. Infatti i valori di Btc utilizzati sono stati applicati a livello di Ambito di paesaggio, e definiti a partire dai dati relativi ai diversi usi del suolo in atto sul territorio piemontese ("Carta forestale e delle altre coperture del territorio" – 2002, aggiornamento 2012), (Ppr - Piano di Monitoraggio p.81-88). Ad ogni elemento del paesaggio è stato associato il corrispondente valore di biopotenzialità territoriale unitaria (Mcal/mq*anno). I valori di riferimento sono stati desunti da dati consolidati in letteratura, ricalibrati tenendo conto delle caratteristiche regionali, dell'entità del disturbo antropico, dello sfruttamento del suolo e del grado di maturità degli ecosistemi naturali. Il valore di Btc effettivo del sistema ambientale di ogni Ambito si è ottenuto combinando la superficie di ciascun tipo di elemento del paesaggio (uso del suolo) con il relativo valore di biopotenzialità unitaria, calcolandone di seguito la media ponderata rispetto alla superficie complessiva dell'Ambito.

Anche nel progetto LOS_DAMA! È stata considerata la Btc media. Per ogni tipologia di uso del suolo presente in un certo territorio si è associato un valore unitario di Btc che, moltiplicato per la superficie occupata dall'elemento stesso, ha fornito il valore di Btc di quell'elemento: la sommatoria delle Btc di tutti gli elementi presenti, divisa per la superficie dell'ambito considerato, ha fornito la Btc media di quell'ambito. I risultati del progetto LOS_DAMA! sono stati ritenuti più idonei per la comparazione di quelli proposti nel Ppr dato che l'analisi è svolta a scala intercomunale.

I vantaggi dell'uso dei dati telerilevati sono evidenti, in quanto forniscono informazioni aggiornate e dettagliate di copertura del suolo e permettono di stimare direttamente determinate grandezze fisiche ed ecosistemiche del territorio (Longato et al. 2018).

Oltre ad un confronto "qualitativo" basato sulla comparazione delle carte semaforiche realizzate a valle delle valutazioni si è voluto procedere a una speditiva analisi quantitativa, basata sul calcolo dell'indice di correlazione tra i dati di btc e i risultati degli indici telerilevati. Sono state utilizzate le immagini Landsat 8; in particolare è stata selezionata in via sperimentale una sola

immagine del 19 giugno 2018 che presentava le migliori caratteristiche atmosferiche, per il periodo primavera-estate, sull'area di riferimento.

Come già indicato, sono stati utilizzati per i confronti due indici: NDVI e SAVI.

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), è un indice vegetazionale in grado di evidenziare la presenza di vegetazione a terra e di valutarne la vigoria in quanto il suo valore è funzione dell'attività fotosintetica delle piante. L'indice viene calcolato partendo da immagini satellitari prodotte da sensori che acquisiscono nel rosso (R: 0.7 μm) e vicino infrarosso (NIR: 0.9 μm). Valuta la presenza di attività fotosintetica, in quanto mette in relazione lo spettro del rosso, in cui c'è assorbimento da parte della clorofilla, e quello del vicino infrarosso in cui le foglie riflettono la luce per evitare il surriscaldamento. I valori dell'indice sono tipicamente compresi tra -1 e +1. Valori compresi tra -1 e 0 indicano assenza di vegetazione, valori prossimi a +1 (0,8 - 0,9) indicano massimo vigore fogliare o massima densità fogliare. L'indice NDVI viene diffusamente utilizzato come proxy per la mappatura e la valutazione quantitativa dei servizi ecosistemici legati alla biomassa vegetale (produzione agricola, produzione legnosa, regolazione del clima, mitigazione degli eventi atmosferici estremi, conservazione della fertilità dei suoli ecc.) (Ayanu et al.2012).

La formulazione matematica di questo indice è:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR}-\text{R})/(\text{NIR}+\text{R})$$

dove: NIR = Near InfraRed (infrarosso vicino); R = Red (rosso)

SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) - L'indice SAVI, a differenza dell'NDVI, include un fattore di correzione (L) per ridurre gli effetti del background del suolo (Huete, 1988), presente soprattutto in aree con minori densità di vegetazione (aree urbane, aree aride e semi aride, aree agricole);

$$\text{SAVI} = ((\text{NIR}-\text{R})/(\text{NIR}+\text{R}+\text{L}))*(1+\text{L})$$

dove: NIR = Near InfraRed (infrarosso vicino); R = Red (rosso); L = fattore di correzione

L è determinato sperimentalmente e varia solitamente da 0.25 (veg. densa) a 0.75 (rada). Nel caso della presente sperimentazione a L è stato attribuito un valore intermedio pari a 0.5

Le immagini sono state calibrate utilizzando il plugin open source gratuito per QGIS, Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) che permette di effettuare una classificazione semi-automatica (conosciuta anche come supervised classification) di immagini remote sensing. Con lo stesso plugin si sono effettuate tutte le operazioni di preprocessamento, di postprocessamento e i calcoli su raster; sono così stati calcolati gli indici NDVI e SAVI l'intera area oggetto di approfondimento individuata dal progetto LOSDAMA! i valori puntuali sono stati mediati per le singole unità di paesaggio al fine di poterli confrontare con i corrispondenti valori di BTC.

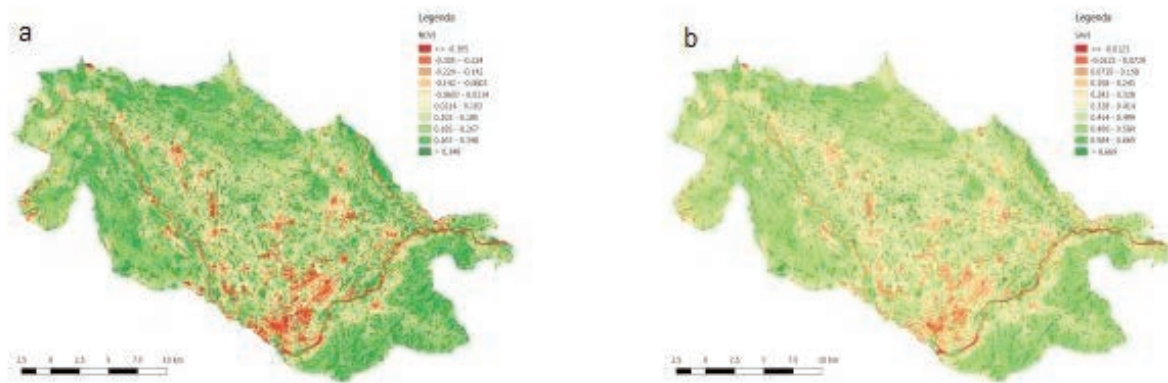


Fig.2 Tavole dell'indice NDVI (a) e dell'indice SAVI (b)



Fig.

3 Spazializzazione dell'indice NDVI sulle UPA, senza sottrazione di pixel dal calcolo (a), con sottrazione pixel corpi idrici (b), con sottrazione pixel corpi idrici e affioramenti rocciosi (c).

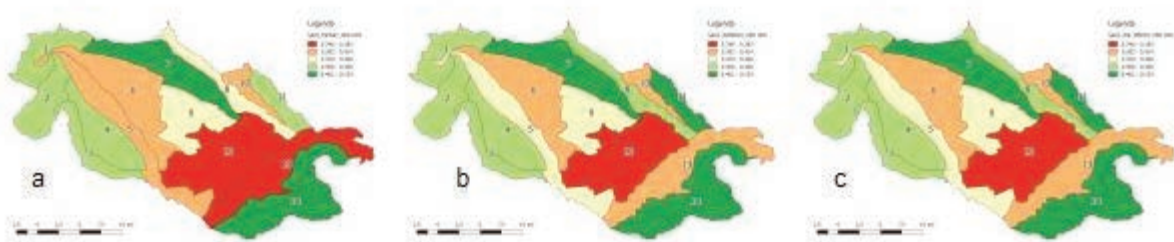


Fig.4 Spazializzazione dell'indice SAVI sulle UPA, senza sottrazione di pixel dal calcolo (a), con sottrazione pixel corpi idrici (b), con sottrazione pixel corpi idrici e affioramenti rocciosi (c).

NDVI e SAVI medi per unità di paesaggio sono stati calcolati in tre modi: nel primo sono stati considerati tutti i pixel (abbreviati in NDVI e SAVI rispettivamente); nel secondo sono stati eliminati dal calcolo del valore medio i pixel riferibili ai principali corsi d'acqua (NDVI_W e SAVI_W). Tale modifica è stata introdotta al fine di minimizzare i possibili effetti di alterazione della valutazione della "qualità ambientale" introdotti dai valori dei pixel che identificano i corpi idrici; occorre ricordare infatti che i valori di ndvi dei corpi idrici, sono analoghi a quelli di un'area urbanizzata/impermeabilizzata che come si può facilmente intuire ha un differente "valore ambientale". Sempre in tale ottica è stato calcolato un terzo valore che non tiene conto dei pixel riferibili all'acqua e agli affioramenti rocciosi (NDVI_WR, SAVI_WR).

UPA	BTC	NDVI	NDVI_W	NDVI_WR	SAVI	SAVI_W	SAVI_WR
1	3,16	0,197	0,2	0,21	0,461	0,463	0,470
2	3,30	0,206	0,206	0,249	0,467	0,467	0,491
3	2,43	0,230	0,231	0,230	0,482	0,482	0,482
4	2,54	0,239	0,239	0,242	0,490	0,490	0,491
5	1,40	0,119	0,160	0,160	0,408	0,430	0,430
6	0,90	0,132	0,132	0,132	0,398	0,398	0,398
7	2,22	0,261	0,261	0,261	0,505	0,505	0,505
8	1,61	0,204	0,215	0,215	0,451	0,459	0,459
9	1,06	0,179	0,179	0,179	0,428	0,428	0,428
10	1,12	0,164	0,164	0,164	0,409	0,409	0,409
11	1,86	0,217	0,264	0,264	0,476	0,505	0,505
12	0,86	0,056	0,056	0,056	0,346	0,346	0,345
13	1,13	0,060	0,139	0,139	0,380	0,410	0,410
14	2,92	0,286	0,286	0,286	0,529	0,529	0,529

Tab.1 Quadro riepilogativo dei valori di BTC con i valori di NDVI e SAVI calcolati senza sottrazione di pixel (NDVI e SAVI), con la sottrazione dei pixel relativi ai corpi idrici (NDVI_W, SAVI_W) , con sottrazione di pixel riferiti a corpi idrici e affioramenti rocciosi (NDVI_WR e SAVI_WR).

Al fine di valutare la correlazione nelle varie UPA tra il valore di BTC e i valori di NDVI e SAVI il valore di BTC è Stato normalizzato secondo la seguente formula: $BTC_{MISURATA}/BTC_{MAX}$

dove il valore di $BTC_{MISURATA}$ corrisponde a quanto desunto dalle valutazioni paesaggistiche e la BTC_{MAX} è il valore massimo che la BTC può assumere nell'area di studio. Successivamente è stato calcolato l'indice di correlazione:

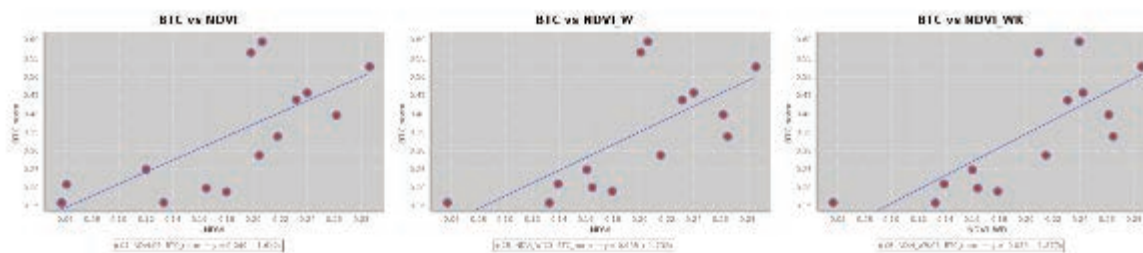
$$-1 \leq \rho_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \mu_y)^2}} \leq +1$$

	(btc-ndvi)	(btc - ndvi_w)	(btc_ndvi_wr)	(btc-savi)	(btc-savi_w)	(btc-savi_wr)
--	------------	----------------	---------------	------------	--------------	---------------

r	0,72	0,69	0,76	0,79	0,75	0,81
p	0,0042	0,0069	0,0017	0,0008	0,0019	0,0005

Tab.2 Quadro riepilogativo dei valori di correlazione tra BTC e indici vegetazionali calcolati(r), e il livello di significatività (p) delle misure.

L'indice di correlazione indica in quasi tutti i casi una forte dipendenza, solo in un caso la correlazione è "media" ma anche in questo caso il valore è prossimo



alla soglia di "forte" correlazione.

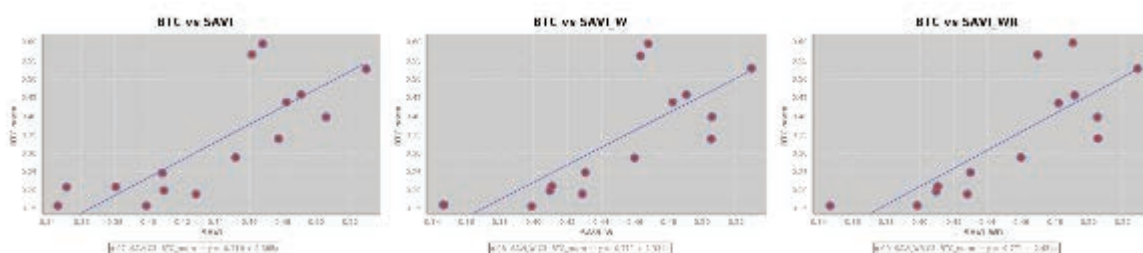


Fig. 5 rette di dispersione tra valori di btc e: a)NDVI; b)NDVI cui sono stati sottratti i pixel relativi ai corpi idrici; c)NDVI cui sono stati sottratti i pixel relativi ai corpi idrici e agli affioramenti rocciosi. Fig. 6 rette di dispersione tra valori di btc e: a)SAVI; b)SAVI cui sono stati sottratti i pixel relativi ai corpi idrici; c)SAVI cui sono stati sottratti i pixel relativi ai corpi idrici e agli affioramenti rocciosi.

Conclusioni

I risultati ottenuti, sebbene preliminari, indicano una forte correlazione tra BTC e gli indici vegetazionali considerati. Sicuramente è possibile migliorare la predittività delle rette di regressione (valore di R^2 non molto alti) affinando il metodo di calcolo degli indici secondo procedure che possano meglio rappresentare l'attività vegetativa nel corso dell'intero anno. L'affinamento di questi metodi potrebbe risolvere, almeno in parte, i problemi nel calcolo della BTC evidenziati in precedenza. Infatti la possibilità di avere immagini a cadenza molto ravvicinata permette un più facile aggiornamento dei dati anche in relazione alle modificazioni dell'uso del suolo e degli ecosistemi. Inoltre la possibilità di ripetere le misure in maniera standardizzata a intervalli di tempo regolari consente la costruzione di serie storiche che, nell'analisi ecologica, sono molto utili nell'interpretazione dei fenomeni in atto (cambiamenti climatici, consumo di suolo) e per la pianificazione di azioni utili a contrastare tendenze degenerative dell'ambiente e il sostegno ai trend positivi.

Bibliografia

Stritih A., Bebi P. Grêt-Regamey A. (2019) - Quantifying uncertainties in earth observation-based ecosystem service assessments - <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.09.005> Science Direct -

U.S. Geological Survey Department of the Interior (2019) - Landsat 8 (L8) Data Users Handbook – LSDS -1574 Version 4.0

Congedo L. (2018) Semi-Automatic Classification Plugin Documentation

Longato D., Maragno D., Musco F., Gissi E. (2018) "L'applicazione dei dati satellitari alla mappatura e valutazione dei servizi ecosistemici" – Ispra Rapporto 2018 Consumo di Suolo dinamiche territoriali e servizi ecosistemici. p.263-269

Pelassa G.R., Penna A. (2018) "Applicazione di metodologie di valutazione dei servizi ecosistemici del suolo nella Pianificazione urbanistica. Esperienze in Piemonte" – Ispra Rapporto 2018 Consumo di Suolo dinamiche territoriali e servizi ecosistemici. 269-274

Piragnolo M. Lusiani G. Pirotti F. (2018) Comparison of vegetation indices from rpas and Sentinel-2 imagery for detecting permanent pastures - The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XLII-3.

AA.VV. (2017) Ppr Regione Piemonte – Piano di monitoraggio

GEO Group on earth observation (2017) – Earth Observations in support of the 2030 Agenda for Sustainable Development – Japan Aerospace Exploration Agency.

Dawson, T.P., Cutler, M.E.J., and Brown. C., (2016) The role of remote sensing in the development of SMART indicators for ecosystem services assessment - in Biodiversity December 2016 DOI: 10.1080/14888386.2016.1246384

Araujo Barbosa C.C., Atkinson P.M., Dearing J.A. (2015). Remote sensing of ecosystem services: A systematic review. Ecological Indicators 52, p.430–443.

Kaspersen P.S., Fensholt R., Drews M., (2015) Using Landsat Vegetation Indices to Estimate Impervious Surface Fractions for European Cities -Remote Sens. 2015, 7, 8224-8249; doi:10.3390/rs70608224

Almutairi B., El battay A., Ait Belaid M., and Musa N. (2013) Comparative Study of SAVI and NDVI Vegetation Indices in Sulaibiya Area (Kuwait) Using Worldview Satellite Imagery - International Journal of Geosciences and Geomatics ISSN: 2052-5591

Ayanu Y.Z., Conrad C., Nauss T., Wegmann M., Koellner T. (2012). Quantifying and Mapping Ecosystem Services Supplies and Demands: A Review of Remote Sensing Applications. Environmental Science & Technology.

Demarchi J.C., Piroli E.L., Zimbak C.R.L. (2011) Temporal analysis of the land use and comparison between ndvi and savi indexes in the city of Santa Cruz do Rio Pardo - SP using landsat-5 images -RA´E GA 21 (2011), p. 234-271

Ingegnoli V. (2011) - Bionomia del Paesaggio – Springer.

Huete A.R. (1988). A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). Remote Sensing

