

I SERVIZI ECOSISTEMICI NELLA RETE NATURA 2000 IN UN CONTESTO FORTEMENTE URBANIZZATO

Maddalena Floris¹, Daniela Ruggeri²

SOMMARIO

Gli ecosistemi contribuiscono, attraverso i Servizi Ecosistemici (SE), al benessere umano. Secondo la recente classificazione *Common International Classification of Ecosystem Services* (CICES), i SE possono essere categorizzati in servizi di approvvigionamento, servizi di regolazione e servizi culturali.

Questo paper discute il ruolo della valutazione di due SE di regolazione, il sequestro di carbonio e la purificazione dell'acqua, per l'identificazione delle principali perdite e guadagni dovuti ai cambiamenti di uso del suolo riconducibili alle misure di gestione attuate nei siti Natura 2000. Il caso di studio coinvolge il contesto della Città metropolitana di Cagliari, in cui i siti Natura 2000 occupano quasi il trenta per cento della superficie.

Nel servizio di sequestro di carbonio, il biossido di carbonio presente in atmosfera, prodotto dalle attività umane e naturali, attraverso un meccanismo naturale viene prelevato dall'atmosfera e immagazzinato nella biomassa vegetale e nel suolo sotto forma di carbonio organico. Nel servizio di purificazione dell'acqua, le sostanze nutritive e altri inquinanti (come metalli, oli e sedimenti), introdotti nelle acque interne e nei sistemi costieri, vengono elaborati e filtrati per mezzo del deflusso idrico attraverso le foreste, le zone ripariali e le zone umide, e il suolo libero. Il cambiamento dell'uso del suolo può avere effetti importanti su entrambi i servizi.

I siti Natura 2000, designati per preservare i valori naturali e gli ecosistemi, forniscono alle comunità locali molteplici SE. La conoscenza della capacità e della distribuzione potenziale dei SE è fondamentale nel processo decisionale e può condurre i decisori ad un nuovo approccio pianificatorio sostenibile. Gli ecosistemi sono infatti sistemi complessi che forniscono una molteplicità di SE interconnessi da relazioni solitamente complesse e non lineari. I cambiamenti di uso del suolo, indotti dalle pratiche di gestione e conservazione della natura, incidono su queste relazioni, influenzando la quantità e la distribuzione di SE.

¹ Università di Cagliari, Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura, via Marengo 2, 09123, Cagliari, maddalena.floris@unica.it. (corresponding author).

² Università di Cagliari, Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura, via Marengo 2, 09123, Cagliari, daniela.ruggeri@unica.it.

1. Introduzione

A partire dalla convenzione di Rio de Janeiro del 1992, gli accordi internazionali volti a garantire un uso sostenibile delle risorse naturali indicano la tutela del capitale naturale come la garanzia per il mantenimento del benessere umano. La valutazione dei benefici offerti dagli ecosistemi richiede agli stati membri dalla Strategia dell'Unione Europea per la Biodiversità fino al 2020 (European Union, 2011), attraverso l'identificazione e la valutazione dei loro servizi, benefici materiali e immateriali forniti dagli ecosistemi al genere umano, rappresenta una delle sfide della ricerca scientifica per i prossimi anni.

Le aree protette sono fonte di biodiversità e fanno parte delle aree più produttive di SE (Ispra, 2011). Come emerge dal recente rapporto sullo stato dell'ambiente europeo, i territori più dotati di SE sono, in genere, più resilienti e meno vulnerabili a fronte di eventi naturali estremi (come piogge intense o ondate di calore); in altre parole, possono meglio tollerare gli impatti (Scolozzi *et al.*, 2012).

Il deterioramento e l'impoverimento degli ecosistemi e la conseguente perdita di SE, dovuti ai cambiamenti degli usi del suolo, fa riflettere sulla necessità di individuare strumenti di supporto alla pianificazione, in grado di valutare a priori in che misura i processi pianificatori possano incidere sull'uso del suolo. Fino ad oggi i benefici derivanti dalle risorse naturali hanno svolto un ruolo di secondo piano nei processi di governo e gestione del territorio, anche perché molte di queste funzioni e conseguenze negative delle scelte che appaiono stringenti e premianti nell'immediato non sono note. Infatti, nonostante i progressi fatti nel campo scientifico negli ultimi decenni, i SE non trovano una posizione all'interno dei processi pianificatori e decisionali. Pertanto, è necessario che si rendano disponibili strumenti per una valutazione *ex-ante* dello stato di fatto e degli effetti che le politiche relative all'uso del suolo possono generare sugli ecosistemi e sulla loro capacità di fornire SE (Santolini, 2010). Se il riconoscimento dei SE è il primo passo, la loro quantificazione e distribuzione è essenziale affinché questi possano essere integrati nei processi di pianificazione territoriale, e non solo (Grasso *et al.*, 2010).

La riflessione qui proposta focalizza la propria attenzione su due servizi di regolazione che regolano processi fisici, biologici ed ecologici: il sequestro e lo stoccaggio del biossido di carbonio (CO₂) e la purificazione dell'acqua. In particolare, si approfondisce il caso di studio della Città metropolitana di Cagliari, inserita in un contesto naturale di rilievo ma al contempo anche fortemente urbanizzato, analizzando le possibili variazioni della capacità di produrre SE legate al cambiamento dell'uso del suolo, e riconoscendo ai SE un ruolo significativo nelle scelte di gestione e pianificazione territoriale.

2. I servizi offerti dagli ecosistemi: dei benefici irrinunciabili

Fin dalla loro introduzione concettuale nei primi anni Settanta, la base di conoscenze sui ES è stata notevolmente arricchita; ma è soprattutto a partire dalla pubblicazione del *Millennium Ecosystem Assessment* (MA), nel 2005, che si sono moltiplicati i progetti internazionali per la loro classificazione e valutazione, tra i quali: il *The Economics of Ecosystems and Biodiversity* (TEEB), e il *Common International Classification of Ecosystem and Services* (CICES).

Il MA è un progetto di ricerca internazionale, promosso dalle Nazioni Unite nel 2001 e conclusosi nel 2005, che individua lo stato degli ecosistemi globali, valuta le conseguenze dei cambiamenti degli ecosistemi sul benessere umano e fornisce una valida base scientifica per la formulazione di azioni necessarie alla conservazione e all'uso sostenibile degli ecosistemi. Fornisce, inoltre, delle indicazioni per il loro ripristino e miglioramento.

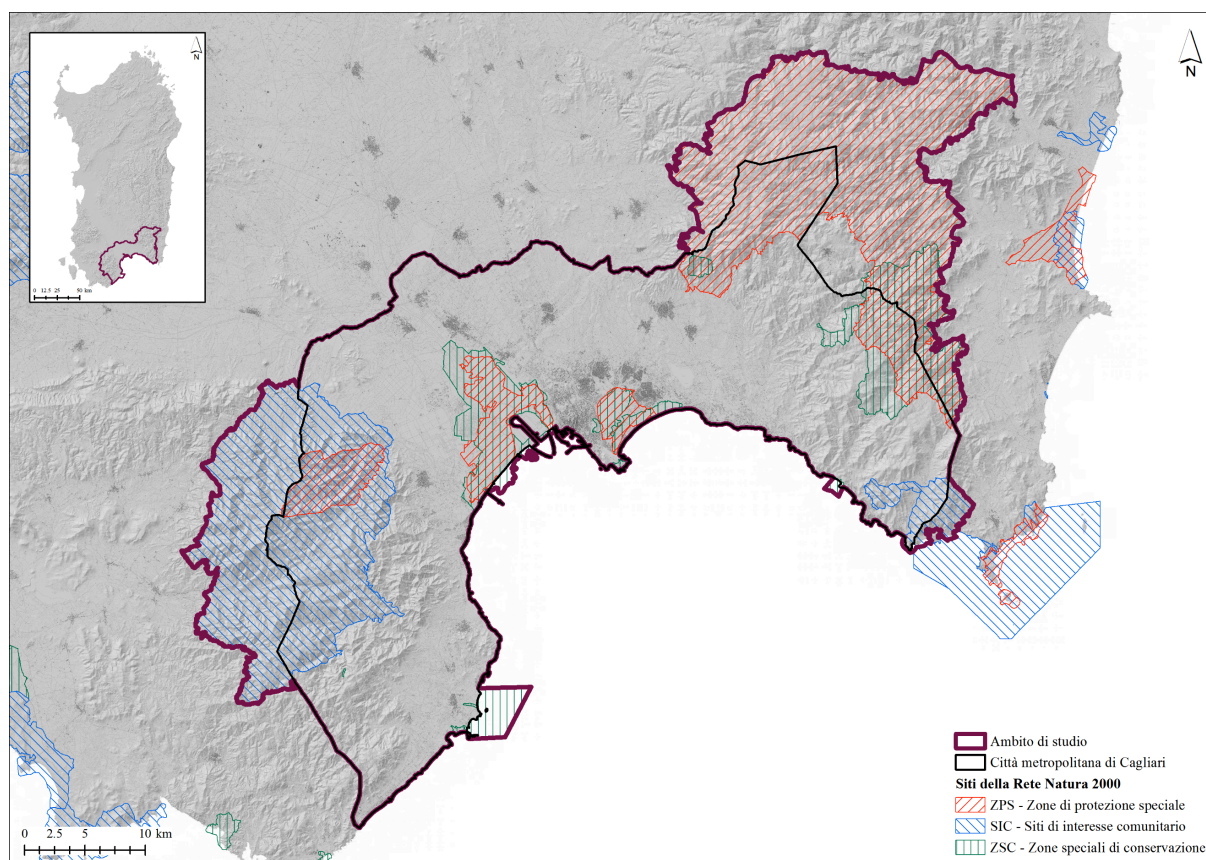
Il TEEB è un progetto internazionale promosso nel 2007 dai ministri dell'ambiente dei governi dei paesi del G8+5, riuniti a Potsdam, in Germania. Il progetto rappresenta un'analisi del beneficio economico globale generato dalla biodiversità e definisce delle metodologie di valutazione economica della biodiversità e dei SE, al fine di dotare i decisori degli strumenti necessari per integrare il valore reale degli stessi nelle loro decisioni.

Il CICES è un progetto *in itinere*, la cui prima bozza è stata depositata nella riunione di esperti organizzata dalla *European Environment Agency* (EEA), nel dicembre 2009. A questa sono seguite diverse versioni, fino all'ultima CICES v4.3, del gennaio 2013. Anche CICES, come TEEB, assume come punto di partenza la tipologia di SE proposta dal MA. La proposta di CICES soddisfa due requisiti fondamentali secondo i quali qualsiasi nuova classificazione deve essere coerente con le tipologie di SE attualmente utilizzate nella letteratura internazionale e dev'essere compatibile con la progettazione di un sistema integrato.

Pur riconoscendo l'importanza di una pluralità di approcci, l'uso di più sistemi di classificazione rende difficoltoso il confronto e l'integrazione tra analisi e valutazione. Per questo motivo, nell'ambito dell'attuazione dell'Azione 5 della Strategia dell'Unione Europea per la Biodiversità fino al 2020, il gruppo di lavoro *Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services* (MAES) (European Union, 2013), istituito allo scopo di sostenere gli Stati membri nel lavoro di valutazione e mappatura degli ecosistemi e dei loro servizi nel loro territorio nazionale, ha deciso di adottare, come base comune, il sistema di classificazione internazionale CICES. Il sistema CICES suddivide i SE in:

- servizi di approvvigionamento: beni e materie prime (l'acqua, le fibre, i materiali genetici, la produzione di cibo e i combustibili come il legname);
- servizi di regolazione: regolano i processi fisici, biologici ed ecologici (il clima, il sequestro di carbonio, la qualità di acqua e aria, arrivando a mitigare rischi naturali come l'erosione, i dissesti idrogeologici o il cambiamento climatico);
- servizi culturali: includono benefici non materiali (es. l'arricchimento spirituale e intellettuale, i valori ricreativi ed estetici).

Figura 1 - L'ambito della Città metropolitana di Cagliari e i siti della Rete Natura 2000.

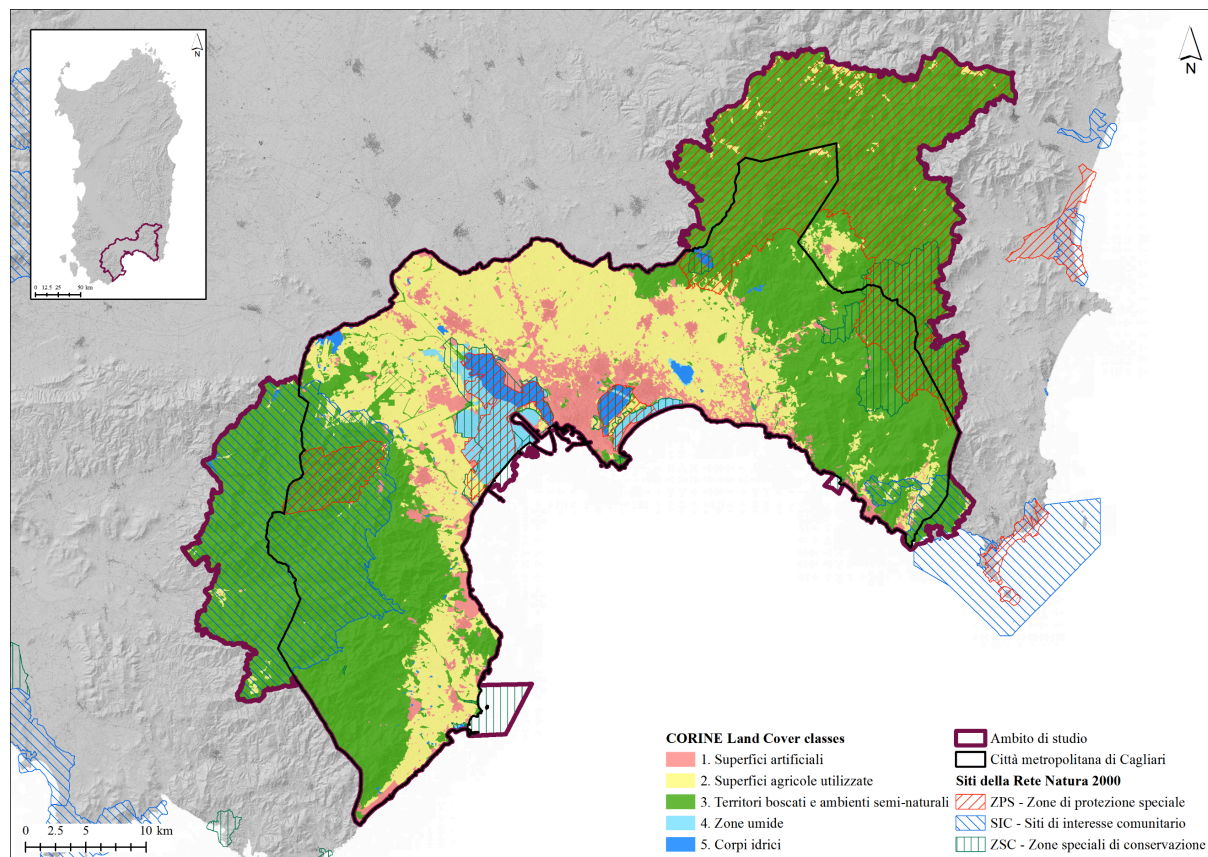


3. Il sequestro di carbonio e la purificazione dell'acqua in un contesto metropolitano

3.1 Il contesto della Città metropolitana di Cagliari

Il caso di studio analizzato riguarda il contesto della Città metropolitana di Cagliari, nel sud della Sardegna, comprendente 17 comuni e un bacino di circa 430.000 abitanti. Nell'ambito sono stati individuati 16 siti della Rete Natura 2000, i quali occupano quasi un terzo della superficie metropolitana. Di questi siti, 8 sono Zone Speciali di Conservazione (ZSC), 4 sono Siti di Importanza Comunitaria (SIC) e 4 sono Zone di Protezione Speciale (ZPS).

Figura 2 - L'uso dei suoli nel contesto della Città metropolitana di Cagliari.



Dal punto di vista dell'uso dei suoli, utilizzando lo strato informativo della Carta d'uso dei suoli³ fornita dalla Regione Autonoma della Sardegna (RAS) è possibile osservare la distribuzione speculare dell'uso dei suoli rispetto al fulcro centrale costituito dal *continuum* urbano di Cagliari e dei comuni limitrofi, circondato da un'estesa fascia di aree agricole e affiancato da due ambiti caratterizzati da zone umide e corpi idrici; alle estremità occidentale e orientale concludono la cornice due ampie fasce caratterizzate da foreste e aree seminaturali.

³ In questo caso è stata utilizzata la Carta dell'uso del suolo in scala 1:25000 della Sardegna, aggiornata al 2008, disponibile all'indirizzo:
<http://www.sardegnageoportale.it/index.php?xsl=2420&s=40&v=9&c=14480&es=6603&na=1&n=100&esp=1&tb=14401>.

3.2 Analisi del servizio ecosistemico di sequestro di carbonio

3.2.1 Il servizio di sequestro di carbonio

La crescente preoccupazione per l'impatto dei cambiamenti climatici, dovuti all'aumento della concentrazione dei gas serra in atmosfera, ha recentemente incentivato la ricerca verso la valutazione del contenuto di carbonio organico nel suolo. Tra i fattori di riduzione del biossido di carbonio (CO₂), a fianco alle misure di contenimento e riduzione delle emissioni, il Protocollo di Kyoto individua la rimozione del CO₂ dall'atmosfera. Questo processo consiste in un meccanismo naturale di cattura e conseguente stoccaggio nel suolo del CO₂ atmosferico, sotto forma di carbonio organico, prodotto dalle attività umane e naturali.

Secondo la *National Oceanic and Atmospheric Administration* degli USA la concentrazione in atmosfera di CO₂ è cresciuta da un valore pre-industriale di circa 280 ppm a un valore di 396 ppm del 2014 e nell'ultimo decennio l'aumento medio annuale è stato pari a 2,04 ppm (Mirabile, 2015). Da qui la necessità non solo di contenere le emissioni di CO₂, ma di incentivarne lo stoccaggio nel suolo per affrontare in maniera integrata la lotta all'inquinamento atmosferico e alla mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici.

La più grande riserva di carbonio è rappresentata dall'ecosistema suolo; la sua dimensione è 3,3 volte superiore a quella dell'atmosfera (Lal, 2004). Il suolo è considerato una risorsa non rinnovabile, in quanto soggetta a processi di formazione estremamente lenti (Daily, 1997). Esso è riconosciuto come lo strato superficiale della crosta terrestre, componente essenziale della zona critica della Terra, ovvero lo strato che si estende dal limite più esterno della vegetazione fino alla zona in cui circolano le acque sotterranee. Il suolo rappresenta la piattaforma dell'attività umana, costituisce l'habitat di gran parte degli organismi della biosfera, è testimone degli ambienti del passato e fornisce SE insostituibili. Risulta, quindi, la più importante, oltre che la più influenzabile, riserva di carbonio. Pertanto, un uso sostenibile della risorsa suolo svolge un ruolo rilevante nelle politiche di mitigazione dei cambiamenti climatici. Tutti i suoli esercitano contemporaneamente differenti funzioni, con la peculiarità di svolgerle in maniera diversa in funzione del suo grado di degradazione.

La perdita di naturalità indotta dai processi di antropizzazione (asportazione, impermeabilizzazione, urbanizzazione, inquinamento) sono considerati la causa principale della degradazione del suolo e della perdita delle proprie funzioni ecosistemiche.

L'immagazzinamento di carbonio nel suolo dipende in gran parte dalle dimensioni di quattro *carbon pool* di carbonio:

- la biomassa epigea (*c_above*), costituita dall'insieme dei tessuti che costituiscono le parti aeree degli organismi vegetali viventi (fusti, rami e ceppaie, inclusa la corteccia, foglie, semi e frutti);
- la biomassa ipogea (*c_below*), costituita dagli apparati radicali di organismi vegetali viventi;
- la necromassa e lettiera (*c_dead*), rappresentata dai residui vegetali legnosi più grossolani e dai residui più fini (foglie, fiori ed infiorescenze, frutti ed infruttescenze, rametti, etc.) non ancora decomposti;
- il suolo (*c_soil*), che comprende il carbonio organico presente negli strati organici e minerali, incluse le radici più fini.

I suoli ricadenti all'interno della classe *Corine Land Cover* (CLC) "Territori boscati e ambienti semi-naturali" presentano il più alto potenziale di sequestro di carbonio. Di conseguenza, l'impatto dei cambiamenti dell'uso del suolo a scapito del servizio di sequestro e stoccaggio di carbonio è generalmente maggiore nei contesti territoriali connotati da un elevato grado di naturalità (Sallustio *et al.*, 2015).

3.2.2 La valutazione del sequestro di carbonio

La metodologia utilizzata in questo studio per valutare il SE si basa sull'utilizzo del modello *Carbon Storage and Sequestration* del software InVEST, sviluppato da Natural Capital Project, che fa riferimento alla cattura

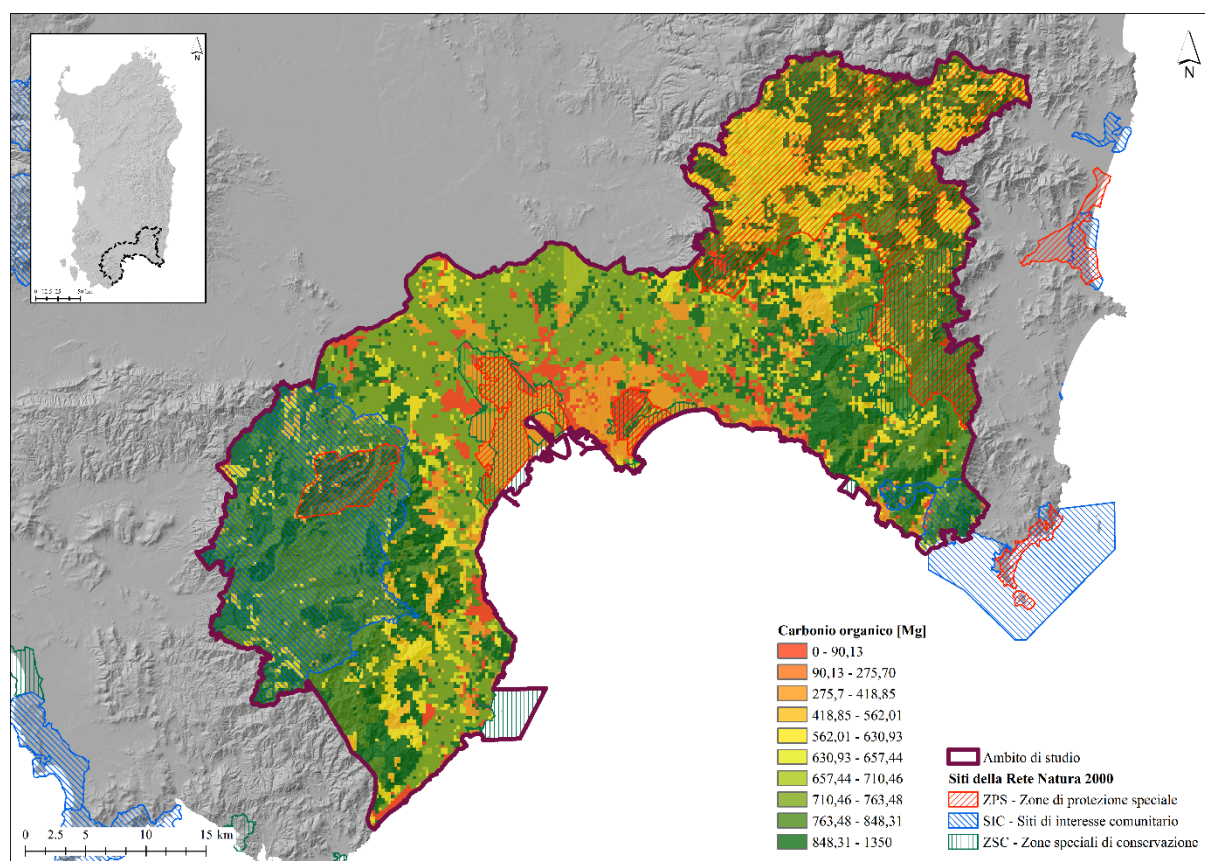
e allo stoccaggio del CO₂ nel suolo. Il modello si basa sulla spazializzazione del valore assoluto dei Mg di carbonio organico stoccate per tipologia d'uso e copertura del suolo (NCP, 2015)⁴.

I dati in input richiesti dal modello *Carbon Storage e Sequestration* e utilizzati in questa metodologia sono i seguenti:

- la Carta dell'uso dei suoli della Sardegna, aggiornata nel 2008, che costituisce un database geografico delle coperture dei suoli della Sardegna, classificata con i codici CLC fino al quinto livello. In questa analisi è stata utilizzata la classificazione CLC fino al quinto livello;
- una tabella delle classi Land Use/Land Cover (LULC) contenente i dati sul carbonio (Mg/ha) immagazzinato in ciascuna delle quattro pool per ogni classe LULC. Il dataset di input è stato composto mediante l'utilizzo dei dati prodotti nel progetto della Regione Sardegna "Carta delle unità delle terre e della capacità d'uso dei suoli - Primo Lotto" (2011-2013) e dai dati contenuti negli archivi storici delle stesse istituzioni in occasioni di altri studi e rilevamenti⁵ e dell'Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio (INFC).

Il modello *Carbon Storage e Sequestration* genera una mappa in cui ogni pixel contiene l'informazione espressa in Mg di carbonio stoccato.

Figura 3 - La mappa dell'esportazione della cattura e stoccaggio di CO₂ generata con il modello *Carbon Storage e Sequestration*.



La mappa in Figura 3 mostra il contributo e la distribuzione potenziale dell'ecosistema suolo per il SE di cattura e stoccaggio di CO₂ nel contesto della Città metropolitana di Cagliari. Dove i valori di cattura e

⁵ Progetto realizzato da Agris Sardegna per l'area Muravera-Castiadas; Laore Sardegna per l'area Arzana e Nurra sud; da UNICA per l'area Pula-Capoterra e da UNISS per l'area Nurra nord e Nurra sud e finanziato dall'Assessorato EE.LL. Finanze e Urbanistica della Regione Autonoma della Sardegna.

stoccaggio di CO₂ sono alti, la capacità potenziale di quei suoli di stoccare carbonio è maggiore (il massimo si ha in corrispondenza del colore verde scuro); dove i valori di cattura e stoccaggio di CO₂ sono bassi, la capacità potenziale di quei suoli di stoccare carbonio è minore (il minimo si ha in corrispondenza del colore rosso). Dalla mappa emerge come i valori minimi si registrino per gli usi del suolo appartenenti alla classe “Superfici artificiali” e “Corpi idrici” e per contro come i valori massimi si registrino per gli usi del suolo appartenenti alla classe “Territori boscati e ambienti semi-naturali”.

3.3 *Analisi del servizio ecosistemico di purificazione dell’acqua*

3.3.1 Il servizio di purificazione dell’acqua

Le intime relazioni tra l’acqua e la terra e gli effetti dell’utilizzo del territorio sulla natura e specificamente sulla qualità delle acque sono stati riconosciuti e analizzati sin dai tempi degli antichi greci (Lassen, Lull e Frank, 1952). Infatti, il servizio di purificazione dell’acqua è un servizio fondamentale per il benessere dell’uomo. La qualità dell’acqua ha conseguenze per le persone attraverso numerosi modi, dall’acqua potabile, agli scopi ricreativi, alle attività di pesca, agli ecosistemi acquatici che spesso hanno una bassa capacità di adattamento rispetto ai carichi di nutrienti e di inquinanti in generale.

In questo caso di studio il servizio ecosistemico di purificazione dell’acqua viene valutato con specifico riferimento alla ritenzione dell’azoto. L’azoto è un elemento chiave degli ecosistemi e il maggiore regolatore delle condizioni ecologiche e funzionali della biosfera, essendo il principale costituente dell’aria dell’atmosfera terrestre. L’azoto è definito “nutriente” perché è essenziale per la crescita di molti organismi. Nell’ultimo secolo, a causa delle attività umane, il ciclo naturale dell’azoto è stato significativamente alterato, con numerose conseguenze: tracce di ossidi di azoto nelle emissioni gassose, eutrofizzazione nei corpi idrici, diminuzione della qualità delle acque sotterranee, con conseguenti effetti sulla biodiversità (Breuer *et al.*, 2008).

La Direttiva 91/676/CEE (“Direttiva Nitrati”), concernente la protezione delle acque dall’inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole, definisce l’inquinamento come «lo scarico effettuato direttamente o indirettamente nell’ambiente idrico di composti azotati di origine agricola, le cui conseguenze siano tali da mettere in pericolo la salute umana, nuocere alle risorse viventi e all’ecosistema acquatico, compromettere le attrattive o ostacolare altri usi legittimi delle acque». Inoltre, la Direttiva 2000/60/EC (“Direttiva Quadro sulle Acque”) definendo un quadro di azione comunitaria nel campo delle politiche sulle acque sottolinea che le acque comunitarie sono sotto una crescente pressione proveniente dall’aumento della domanda di acque di buona qualità, da utilizzare per diversi scopi. Di conseguenza, è indubbio il fatto che il servizio di regolazione di purificazione dell’acqua abbia un ruolo strategico e da tutelare con assoluta priorità.

I carichi di azoto possono essere sia puntuali che diffusi. Fonti puntuali possono trovarsi sia nelle aziende di allevamento e agricoltura, che nelle aree di stoccaggio alimentari; fonti diffuse possono essere costituite dalle aree urbane, dalle aree agricole o destinate al pascolo, dalle zone industriali. Successivamente, durante gli eventi meteorici il deflusso idrico trasporta i nutrienti, nonché gli inquinanti in generale, attraverso le superfici del territorio, verso i fiumi, i laghi, fino al mare.

Gli ecosistemi forniscono il servizio di purificazione dell’acqua attraverso la rimozione di sedimenti, nutrienti e pesticidi dalla superficie del deflusso idrico attraverso deposizione, filtrazione, infiltrazione e assorbimento (Zhang *et al.*, 2010); in questo modo, gli inquinanti possono essere ritenuti o degradati prima che possano raggiungere il corso d’acqua. I sistemi per ottenere questi servizi sono numerosi: la vegetazione può rimuovere gli inquinanti imbrigliandoli nelle trame o liberandoli nell’ambiente sotto altre forme; i suoli possono intrappolare e stoccare gli inquinanti solubili; lo scorrimento lento delle acque nelle aree umide consente alla vegetazione di catturare gli inquinanti; inoltre, la vegetazione ripariale ha una specifica importanza, costituendo l’ultima barriera prima che gli inquinanti possano raggiungere il corso d’acqua.

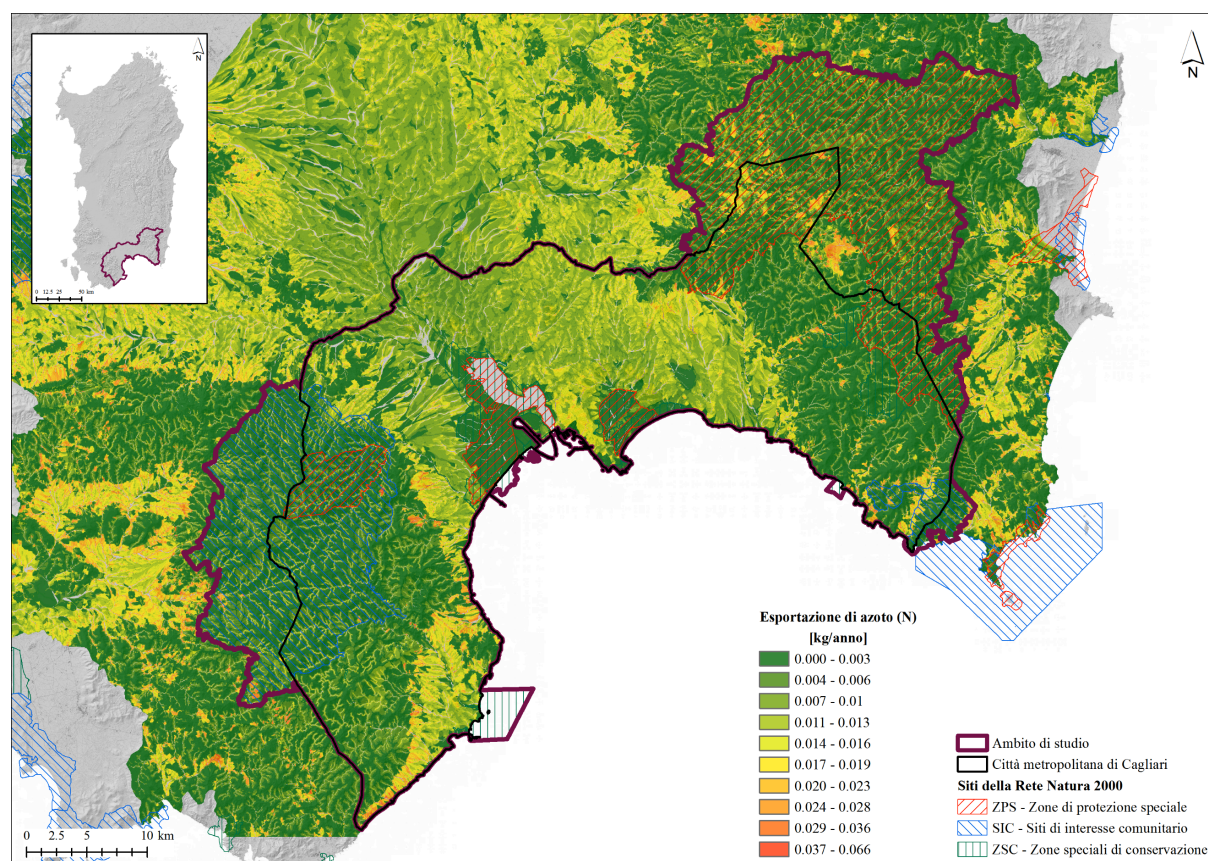
3.3.2 La valutazione della purificazione dell'acqua

La metodologia utilizzata in questo studio per valutare la purificazione dell'acqua si basa sull'utilizzo del modello *Nutrient Delivery Ratio* (NDR) del software InVEST (NCP), che fa riferimento alla ritenzione di due nutrienti: azoto e fosforo. Il modello descrive il movimento di masse di nutrienti attraverso lo spazio basandosi su relazioni empiriche, mappando le sorgenti di nutrienti presenti nei bacini idrici e il loro trasporto fino ai corsi d'acqua. Si basa sul concetto che ciascun elemento del bacino è caratterizzato da un proprio carico di nutriente e da un coefficiente di trasporto funzione della pendenza e dell'efficienza di ritenzione della copertura del suolo (NCP, 2015).

I dati in input richiesti dal modello NDR e utilizzati in questa metodologia sono i seguenti:

- un modello digitale del terreno, che rappresenta la distribuzione delle unità del territorio in formato digitale, con un valore di elevazione per ogni cella. È stato utilizzato un modello digitale disponibile sul Geoportale della Sardegna, in formato raster e con una risoluzione a 10 m;
- la Carta dell'uso dei suoli della Sardegna, aggiornata nel 2008, che costituisce un database geografico delle coperture dei suoli della Sardegna, classificata con i codici CLC fino al quinto livello. In questa analisi è stata utilizzata la classificazione CLC fino al terzo livello;
- un file shape contenente 64 bacini idrici superficiali, come definiti dal Piano di gestione del distretto idrografico della Sardegna;
- una mappa rappresentante il deflusso potenziale stimato in base all'elaborazione con metodo geostatistico (Phillips *et al.*, 1992) delle precipitazioni medie annue a partire dalle misurazioni di 109 stazioni pluviometriche presenti nel contesto metropolitano;
- una tabella biofisica che mette in relazione le coperture dei suoli con i carichi di azoto, l'efficienza di rimozione dell'azoto e la massima distanza di ritenzione per ciascuna classe, elaborata per il contesto in esame a partire dagli studi di Bachmann Vargas (2013).

Figura 4 - La mappa dell'esportazione dell'azoto generata con il modello NDR.



Il modello NDR genera una mappa in cui ogni pixel contiene l'informazione sulla quantità di nutriente che eventualmente raggiunge il corso d'acqua, misurato in kg/pixel, e un file shape in cui il valore complessivo di nutriente è aggregato per bacino come somma del contributo di ciascun pixel in esso ricadente.

In questo particolare caso sono stati analizzati i soli carichi di azoto e i bacini idrici superficiali. La mappa mostrata in Figura 4 rappresenta i contributi del suolo e della vegetazione alla purificazione dell'acqua attraverso la rimozione degli inquinanti dal deflusso superficiale. In particolare, la mappa mostra la suscettività di specifiche parti del territorio nel purificare l'acqua: dove i valori di esportazione dell'azoto sono alti, la purificazione dell'acqua è minore (il minimo si ha in corrispondenza del colore rosso scuro), in quanto grosse quantità di inquinante possono raggiungere il corso d'acqua; dove i valori di esportazione sono bassi, la purificazione dell'acqua è maggiore (il massimo si ha in corrispondenza del colore verde scuro), in quanto l'inquinante è ritenuto. L'output è particolarmente sensibile alle variazioni dei dati in input. Infatti, i valori di efficienza di ritenzione sono basati su studi empirici e su fattori basati su valori medi (come la variabilità intra-annuale) e i dati che compongono la tabella biofisica contengono valori associati a partire da altri studi e non misurati direttamente nel contesto in esame.

4. Dibattito sul ruolo dei servizi ecosistemici nelle scelte pianificatorie

La valutazione del contributo potenziale del SE di cattura e stoccaggio di CO₂ nel suolo sotto forma di carbonio organico suggerisce che l'ecosistema suolo, anche in un contesto fortemente urbanizzato come quello della Città metropolitana di Cagliari, ha un potenziale di cattura e stoccaggio di CO₂ non trascurabile. Lo stesso protocollo di Kyoto riconosce a questo servizio un ruolo importante affianco alle misure di contenimento delle emissioni, al fine di mitigare i cambiamenti climatici e i loro impatti. Le elaborazioni spaziali della distribuzione della capacità potenziale di stoccare carbonio in riferimento ai siti della Rete Natura 2000 evidenziano il ruolo importante di queste aree per la fornitura del SE di cattura e stoccaggio di carbonio, ad esclusione dei Siti centrali appartenenti alla classe CLC "Corpi idrici".

L'aumento della concentrazione dei gas serra in atmosfera e gli accordi internazionali incentivano la ricerca verso metodologie orientate a definire un rapporto tra pianificazione territoriale e mitigazione degli impatti negativi causati dai cambiamenti climatici, per la definizione di politiche territoriali orientate al mantenimento del SE di cattura e stoccaggio del CO₂. La valutazione del SE di cattura e stoccaggio di CO₂, generalmente basata sulla spazializzazione del valore assoluto dei Mg di carbonio organico stoccati per tipologia d'uso/copertura del suolo, necessita di misurazioni dirette, in continuo aggiornamento e di scale di analisi appropriate all'ambito territoriale di riferimento, al fine di limitarne l'errore di valutazione e mappatura dovuto alle approssimazioni e assimilazioni talvolta necessarie per sopperire alla carenza dei dati.

Con il proposito di identificare le aree che presentano sia maggiori potenzialità che maggiori criticità rispetto alla fornitura servizio ecosistemico di purificazione dell'acqua, è stata sintetizzata un'analisi al fine di identificare le aree ad elevata capacità di ritenzione dei nutrienti, con particolare riferimento al ruolo svolto dai Siti Natura 2000 nel contesto della Città metropolitana di Cagliari. In particolare, nella mappa riportata in Figura 4, il ruolo dei siti della Rete Natura 2000 emerge in maniera evidente: specialmente nella parte orientale e nella parte occidentale, nonché negli specchi d'acqua centrali, la più alta percentuale di valori verdi (che potenzialmente hanno maggior peso nella fornitura di questo SE) è contenuta all'interno dei Siti, o nelle aree che li circondano. Questo conferma il fatto che le aree protette costituiscono una sorgente unica di biodiversità e coinvolgono ambiti caratterizzati da un elevato livello di fornitura di servizi ecosistemici (ISPRA, 2011). Nel 1992, durante la Conferenza di Rio, il bisogno di acqua è stato riconosciuto anche come bene quantificabile in termini economici (Pennington e Cech, 2010). Stimare il servizio ecosistemico della purificazione dell'acqua è un obiettivo complesso, poiché i numerosi dati in input difficilmente sono misurati direttamente sul campo e il modello utilizzato effettua numerose semplificazioni. Inoltre, non è sempre possibile avere a disposizione i dati necessari nel lasso di tempo in cui nel processo pianificatorio si devono prendere decisioni (Trepel *et al.*, 2002), per cui talvolta si rende necessario fare delle semplificazioni e delle approssimazioni in riferimento ai dati disponibili.

L'uomo costantemente modifica il proprio territorio in funzione delle proprie necessità, al fine di ottenere benefici ecologici, sociali e economici aggiuntivi. Tuttavia, questi cambiamenti possono talvolta risultare devastanti e molte risorse possono essere perse in maniera irreversibile (Aretano *et al.*, 2013).

I conflitti sono generalmente definiti come situazioni in cui delle parti con differenti obiettivi o interessi si scontrano. I conflitti relativi ai servizi ecosistemici spesso ricadono all'interno della categoria dei conflitti degli usi del suolo, dei conflitti legati alla biodiversità o ai conflitti sulla conservazione (Kovács *et al.*, 2015).

Le analisi relative all'identificazione dei servizi ecosistemici sono utili allo scopo di essere consapevoli delle minacce che conseguono l'aumento della pressione antropica, e conseguentemente effettuare scelte consapevoli. Questo approccio può contribuire a tenere in considerazione la conservazione dei fenomeni naturali nei processi pianificatori e conferma il ruolo strategico della Rete Natura 2000 nella fornitura di benefici per l'uomo e l'ambiente.

Nonostante le grandi superfici occupate dai siti della Rete Natura 2000, spesso questi non riescono ad essere fattori di sviluppo dei territori e vengono percepiti in gran parte esclusivamente come vincoli. Le motivazioni del mancato decollo vanno ricercate, tra le altre cose, nell'insufficiente azione di coinvolgimento delle popolazioni locali, nella mancanza di strategie integrate con il turismo, la pastorizia e l'agricoltura, l'artigianato, l'istruzione (INU, 2016, p. 350).

5. Conclusioni

La consapevolezza dell'importanza delle dinamiche che ruotano attorno ai cambiamenti negli ecosistemi e alle conseguenze dirette e indirette sulla fornitura di servizi ecosistemici è chiaramente sottolineata nelle recenti strategie e politiche europee sulla gestione e conservazione dell'ambiente (Haslett *et al.*, 2010). La valutazione dei benefici forniti dal capitale naturale attraverso l'identificazione e la valutazione degli ecosistemi e dei loro servizi è una delle recenti sfide per la ricerca scientifica e per la pratica istituzionale previste per i prossimi anni. Nelle pratiche pianificatorie sia a livello urbano che a livello rurale, l'interesse per l'analisi e la mappatura dei servizi ecosistemici sta aumentando, soprattutto per il loro contributo nel processo decisionale al fine di assicurare maggiormente un uso sostenibile delle risorse naturali. Tuttavia, l'effettiva importanza dei servizi ecosistemici nella definizione delle decisioni pianificatorie è ancora notevolmente limitata (Barò *et al.*, 2016). Nell'ambito della ricerca applicata, si riconosce all'urbanistica un ruolo chiave per il raggiungimento dell'obiettivo della Strategia dell'Unione Europea per la biodiversità fino al 2020, "Porre fine alla perdita di biodiversità e al degrado dei servizi ecosistemici nell'UE entro il 2020 e ripristinarli nei limiti del possibile, intensificando al tempo stesso il contributo dell'UE per scongiurare la perdita di biodiversità a livello mondiale".

La riflessione tenta di delineare una possibile risposta al problema dell'integrazione dei SE nei processi pianificatori su scala locale, attraverso una proposta metodologica di supporto alla pianificazione, che consente di stimare la progressiva alterazione della capacità di produrre SE per effetto del futuro assetto territoriale. L'idea è quella di analizzare e definire il rapporto tra pianificazione territoriale e mantenimento della biodiversità, attraverso un approccio ecosistemico in cui i SE diventano esplicativi del grado di pressione esercitato dai processi pianificatori che alterano l'equilibrio ambientale. L'analisi proposta in questo contributo costituisce un input al percorso di accrescimento delle conoscenze che devono essere identificate come fondamentali nel processo pianificatorio a qualunque livello.

6. Riconoscimenti

Questo contributo è redatto nell'ambito del Programma di Ricerca "Natura 2000: Valutazione dei piani di gestione e studio dei corridoi ecologici come Rete complessa", finanziato, per gli anni 2015-2018, dalla Regione Autonoma della Sardegna, nel quadro del Bando per la presentazione di "Progetti di ricerca fondamentale o di base", annualità 2013, sviluppato presso il Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura (DICAAR) dell'Università di Cagliari.

Maddalena Floris e Daniela Ruggeri hanno complessivamente contribuito alla delineazione complessiva del paper, condividendone l'introduzione, la discussione finale e le conclusioni. Maddalena Floris ha curato la sezione relativa al SE di sequestro di carbonio; Daniela Ruggeri ha curato la sezione relativa al SE di purificazione dell'acqua.

7. Bibliografia

- Aretano R., Petrosillo I., Zaccarelli N., Semeraro T. e Zurlini G. (2013), People Perception of Landscape Change Effects on Ecosystem Services in Small Mediterranean Islands: A Combination of Subjective and Objective Assessment. *Landscape and Urban Planning*, 112:63-73.
- Assennato F., De Toni A., Di Leginio M., Fumanti F., Munafò M., Sallustio L., Strollo A. (2015), *Azione B1 – I servizi ecosistemici del suolo* – Review. <http://www.sam4cp.eu/>
- Bachmann Vargas P. (2013), Ecosystem services modeling as a tool for ecosystem assessment and support for decision making process in Aysén region, Chile (Northern Patagonia). *Master thesis*, disponibile all'indirizzo: http://www.academia.edu/5148764/Ecosystem_services_modeling_as_a_tool_for_ecosystem_assessment_and_support_for_decision_making_process_in_Aysén_region_Chile_Northern_Patagonia_.
- Barò F., Palomo I., Zulian G., Vizcaino P., Haase D., Gómez-Baggethun E. (2016), Mapping Ecosystem Eervice Capacity, Flow and Demand for Landscape and Urban Planning: a Case Study in the Barcelona Metropolitan Region. *Land Use Policy*, 57:405-417.
- Breuer L., Vaché K.B., Julich S., Frede H.G. (2008), Current concepts in nitrogen dynamics for mesoscale catchments. In *Hydrological Sciences Journal*, 53, 5:1059-1074.
- Daily G.C. (1997), *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington.
- European Union (2013), Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services. An analytical framework for ecosystem assessments under Action 5 of the EU Biodiversity Strategy to 2020.
- European Union (2011), *The UE Biodiversity Strategy to 2020*. Luxembourg.
- Gasparini P., Di Cosimo L., Pompei E. (eds) (2013), *Il contenuto di carbonio delle foreste italiane. Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoiforestali di Carbonio INFC2005. Metodi e risultati dell'indagine integrativa*. Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali, Corpo Forestale dello Stato; Consiglio per la ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura, Unità di ricerca per il Monitoraggio e la Pianificazione Forestale. Trento.
- Grasso V., Zabini F., Primo Vaccari F. (2010), Il bilancio del carbonio: un contributo per una diversa valorizzazione degli ecosistemi toscani. In: Perrone C., Zetti I. *Il valore della terra. Teoria e applicazioni per il dimensionamento della pianificazione territoriale*, Franco Angeli, Milano, 299-312.
- Haines-Yong R., Potschin M. (2013), CICES V4.3 – Revised report prepared following consultation on CICES Version 4, August-December 2012. EEA Framework Contract No EEA/IEA/09/003.
- Haslett J.R., Berry P.M., Bela G., Jongman R.H., Pataki G., Samways M.J., Zobel M. (2010), Changing Conservation Strategies in Europe: a Framework Integrating Ecosystem Services and Dynamics. Biodiversity and Conservation. In: *Biodiversity and Conservation*, 19, 10:2963-2977, Springer.
- Istituto Nazionale di Urbanistica (INU) (2016), *Rapporto dal territorio 2016*. INU Edizioni, ISBN 978-88-7603-153-3.
- Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) (2011), Biodiversità e attività sugli ecosistemi, disponibile all'indirizzo: http://www.isprambiente.gov.it/files/pubblicazioni/statoambiente/tematiche2011/02_Biodiversita_e_attivita_sugli_ecosis-temi_2011.pdf/view.

- Kovács E., Kelemen E., Kalóczkai Á., Margóczy K., Pataki G., Gébert J., Málovics G., Balázs B., Roboz Á., Krasznai Kovács E., Mihók B. (2015), Understanding the links between ecosystem service trade-offs and conflicts in protected areas, *Ecosystem Services*, 12:117-127, Elsevier.
- Lal R. (2004), Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security, *Science* 304:1623-1627.
- Lassen L., Lull H.W. e Frank B. (1952), Some Plant-Soil-Water Relations in Watershed Management, Circular n. 910, United States Department of Agriculture, Washington D.C.
- Leemans R., De Groot R.S. (2003), Millennium Ecosystem Assessment: Ecosystems and human well-being: a framework for assessment (Millennium assessment contribution). Washington, Covelo, London: Island Press.
- Mirabile M., Bianco P.M., Silli V., Brini S., Chiesura A., Vitullo M., Ciccarese L., De Lauretis R., Gaudio D., Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (2015), *Linee guida di forestazione urbana sostenibile per Roma*. ISPRA, Manuali e Linee Guida, 129/2015.
- Natural Capital Project (NCP) (2015), *InVEST User Guide*, disponibile all'indirizzo: <http://data.naturalcapitalproject.org/nightly-build/invest-users-guide/html/#>.
- Pennington K.L., Cech T.V. (2010), Introduction to Water Resources and Environmental Issues. Cambridge University Press, ISBN 978-0-521-86988-1.
- Phillips D.L., Dolph J., Marks D. (1992), A comparison of geostatistical procedures for spatial analysis of precipitation in mountainous terrain. *Agricultural and Forest Meteorology*, Elsevier Science Publishers, 58:119-141, Amsterdam.
- Santolini R. (2010), Servizi ecosistemici e sostenibilità. *Ecoscienza*, 3:20-23, Arpa Emilia Romagna.
- Scolozzi R., Morri E., Santolini R. (2012), Territori sostenibili e resilienti: la prospettiva dei servizi ecosistemici. *Territorio*, 60:167-175, FrancoAngeli.
- The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB) (2010), The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations. Pushpam Kumar, Earthscan, London and Washington.
- Trepel M., Palmeri L. (2002), Quantifying nitrogen retention in surface flow wetlands for environmental planning at the landscape-scale. *Ecological Engineering*, 19, 2:127-140, Elsevier.
- Zhang X., Liu X., Zhang M., Dahlgren R.A., Eitzel M. (2010), A Review of Vegetated Buffers and a Meta-Analysis of their Mitigation Efficacy in Reducing Nonpoint Source Pollution. In: *Journal of Environmental Quality*, 39:76-84.

ABSTRACT

Ecosystem Services (ESs) contribute to the human well-being, and, according to the recent classification of the Common International Classification of Ecosystem Services (CICES), they can be categorised into provisioning, regulating and cultural services.

This paper investigates functions and benefits of ESs, especially regulating services such as Carbon sequestration and Water purification, which are essential to life. In Carbon sequestration, the atmospheric CO₂, produced by human activities, is removed from the atmosphere through natural processes and stored by terrestrial ecosystems in the soil. In Water purification, nutrients and other pollutants (i.e. metals, oils and sediments), introduced into inland waters and coastal and marine ecosystems, are processed and filtered out through water flow along forests, riparian zones and wetland.

Land-use changes can have important effects on both Carbon sequestration and Water purification services. The aim of this paper is to identify benefits of the Natura 2000 Network in urban context, with reference to ESs. For this purpose, we focus on a case study in the context of the Metropolitan City of Cagliari (Sardinia, Italy), where the Natura 2000 Sites involve a thirty percent of the metropolitan area. The results of the assessments of Carbon sequestration and Water purification show that areas including Natura 2000 Sites are highly potentially suitable to contain both ESs.

The knowledge of the potential distribution and the quantity of ESs provided by the Natura 2000 Sites is crucial and can lead the decision-makers to a new planning approach, which is the key for sustainable urban development.