Collana "Ricerche e studi territorialisti"

La Bioregione Pontina: esperienze, problemi, linee di ricerca per scenari di futuro

a cura di
Alberto Budoni, Maria Martone e Sergio Zerunian

SdT Edizioni

RST

RICERCHE E STUDI TERRITORIALISTI

COLLANA DIRETTA DA
Filippo Schilleci

La Collana *Ricerche e Studi Territorialisti*, pubblicata dalla SdT Edizioni, nasce da una precisa volontà della Società dei territorialisti e delle territorialiste. Le ragioni che hanno portato a questa scelta sono molteplici.

In primo luogo poter pubblicizzare, attraverso una corretta diffusione, i lavori della SdT. Anche se di recente costituzione, la Società ha già avviato molti studi e prodotto materiali che nella maggioranza dei casi non hanno avuto, ancora, una adeguata divulgazione nonostante gli incontri, locali e nazionali, abbiano richiamato studiosi che, con le loro testimonianze, hanno dato un valido contributo al dibattito scientifico.

Un secondo punto è strettamente legato alla struttura stessa della SdT che ha un'anima composta da studiosi di molte discipline che lavorano congiuntamente per sviluppare un sistema complesso e integrato di scienze del territorio (urbanisti, architetti, designer, ecologi, geografi, antropologi, sociologi, storici, economisti, scienziati della terra, geofilosofi, agronomi, archeologi). Questo aspetto, come è chiaramente espresso nel Manifesto della Società, è un punto di forza su cui puntare per dare valore ai lavori che si portano avanti.

La collana non vuole essere una collana di settore, non vuole rappresentare il mezzo di espressione di un pensiero monodisciplinare. Al contrario, riprendendo un altro dei principi della Società, pone le sue basi sui molteplici approcci presenti nelle scienze del territorio, considerando il territorio stesso come bene comune nella sua identità storica, culturale, sociale, ambientale, produttiva.

I prodotti della collana saranno espressione, quindi, del progetto territorialista che, come più volte testimoniato, si occupa, in una società contemporanea fortemente deterritorializzante, di produrre valore aggiunto territoriale, attraverso forme di governo sociale per la produzione di territorio con la finalità di aumentare il benessere individuale e sociale di coloro che lo abitano, vi lavorano o lo percorrono. I contributi saranno, inoltre, testimonianza dei diversi ambiti di ricerca-azione che attraversano il vasto campo delle arti e delle scienze del territorio.

La collana, anche attraverso la composizione del suo Comitato Scientifico, farà dell'internazionalizzazione un altro dei suoi punti di forza. Ciò, non solo per dare respiro internazionale alla collana, ma anche per poter contare su apporti che non si limitino ad esperienze e a punti di vista nazionali - come del resto sta già avvenendo per la rivista - così da incrementare il dibattito transdisciplinare e transnazionale.

La collana, inoltre, utilizza una procedura di referaggio in double blind peer review avvalendosi di revisori scelti in base a specifiche competenze.

Ricerche e Studi Territorialisti_2

© copyright SdT edizioni
Aprile 2018

email: collanarst.sdt@gmail.com
http: /www.societadeiterritorialisti.it/
ISBN 978-88-940261-5-3 (print)
ISBN 978-88-940261-3-9 (online)

COLLANA RICERCHE E STUDI TERRITORIALISTI
diretta da Filippo Schilleci

Comitato Scientifico
Giuseppe Barbera (Università di Palermo)
Alberto Budoni (Università di Roma "La Sapienza")
Carlo Cellamare (Università di Roma "La Sapienza")
Anna Maria Colavitti (Università di Cagliari)
Pierre Donadieu (École nationale supérieure de paysage di Versailles-Marsiglia)
Alberto Magnaghi (Università di Firenze)
Ottavio Marzocca (Università di Bari)
Alberto Matarán (Universidad de Granada)
Daniela Poli (Università di Firenze)
Saverio Russo (Università di Foggia)
Ola Söderström (Université de Neuchâtel)

Comitato Editoriale
Annalisa Giampino
Francesca Lotta
Marco Picone
Vincenzo Todaro

In copertina
La media Valle dell'Amaseno, parte della Bioregione Pontina, dalla Loggia dei Mercanti di Maenza.
Autore*: Sergio Zerunian*

La Bioregione Pontina: esperienze, problemi, linee di ricerca per scenari di futuro

a cura di
Alberto Budoni, Maria Martone,
Sergio Zerunian

SdT
Edizioni

INDICE

Introduzione **7**
Alberto Budoni, Maria Martone, Sergio Zerunian

La bioregione urbana. Da modello interpretativo a categoria progettuale **11**
Filippo Schilleci

Caratteri del territorio e linee di azione per scenari di futuro della Bioregione Pontina **19**
Alberto Budoni

I SEZIONE: STUDI SU AMBIENTE E SISTEMA INSEDIATIVO

La gestione della risorsa idrica sotterranea quale strategia di sviluppo sostenibile **49**
Claudio Alimonti

Gli eventi alluvionali nel territorio del Comune di Latina: caratteristiche idrologiche, aree critiche e linee di intervento **63**
Francesco Cioffi, Federico Conticello, Vincenzo Scotti

Biodiversità ed Aree naturali protette **75**
Sergio Zerunian

Il patrimonio dei centri storici del versante tirrenico dei Monti Lepini: per una documentazione iconografica fra memoria storica e futuro **91**
Maria Martone

Il tram-treno 'ligne de vie' della Bioregione Pontina **111**
Valerio Mazzeschi

II SEZIONE: STUDI SU TECNOLOGIE PER LA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE

Big data nei sistemi complessi: analisi dell'efficienza energetica nei sistemi idrici integrati **125**
Alessandro Corsini, Sara Feudo, Fabrizio Bonacina, Chiara Alfiero, Ennio Cima

Sostenibilità economica e ambientale degli impianti per la produzione di biogas da reflui zootecnici: un caso di studio nel Comune di Pontinia **139**
Andrea Cappelli, Silvano Simoni, Marco Centra

Tecniche innovative di consolidamento dei terreni per la mitigazione dei geo-rischi della realtà pontina **157**
Ignazio Paolo Marzano, Giuseppe Iorio, Giuseppe Panetta

Il riciclo meccanico dei rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche: una sfida tecnologica **171**
Giuseppe Bonifazi, Riccardo Gasbarrone, Silvia Serranti

Tecnologie innovative per il recupero e il controllo degli aggregati riciclati **187**
Giuseppe Bonifazi, Roberta Palmieri, Silvia Serranti

Introduzione

Alberto Budoni, Maria Martone, Sergio Zerunian

Il volume è il frutto delle attività di studio e di ricerca svolte dai componenti del Nodo Pontino della Società dei Territorialisti/e (SdT) nel territorio della Provincia di Latina; raccoglie contributi non solo dei soci appartenenti al Nodo ma anche di altri docenti della stessa sede di Latina della Facoltà di Ingegneria Civile e Industriale di Sapienza Università di Roma. Il tema è la Bioregione Pontina in cui sono stati individuati confini, problemi e appropriate linee di ricerca per possibili scenari di futuro. Gli studi fanno riferimento a diversi approcci e concezioni disciplinari che comprendono la pianificazione territoriale e urbanistica, la rappresentazione del territorio, l'ecologia, l'idraulica, l'ingegneria degli acquiferi, la geotecnica, l'ingegneria delle materie prime, i sistemi per l'energia e l'ambiente. Come noto, la maggior parte di queste discipline sono di matrice ingegneristica, spesso produttrici di visioni tecniciste ed efficientiste asservite al mercato. Proprio il tentativo di declinare in modo diverso queste visioni sulla base delle tematiche proprie della Scuola Territorialista, matrice culturale della SdT, rappresenta uno degli elementi più significativi della pubblicazione. Naturalmente si tratta di un primo risultato non privo di questioni aperte, che si auspica possano essere approfondite sia nell'ambito del Nodo stesso che a livello nazionale tra i membri della SdT.

Per favorire lo scambio interdisciplinare e il confronto con i problemi del territorio pontino, propedeutici alla stesura dei contributi, il Nodo Pontino insieme alle strutture accademiche della sede di Latina di Sapienza Università di Roma e alla Fondazione Roffredo Caetani si è impegnato nell'organizzazione del ciclo di conferenze 'Visioni di futuro' nel cui ambito si è svolta nel dicembre 2016 una giornata di studio sulla Bioregione Pontina. In occasione di questa giornata è stata proposta una delimitazione della Bioregione Pontina[1] (Fig.1) che ha rappresentato il punto di riferimento territoriale degli studi contenuti nel volume. Nel complesso, la delimitazione comprende sia l'ambito della pianura, il cosiddetto Agro Pontino, appendice meridionale della Campa-

[1] Elaborazione in QGIS nell'ambito delle attività di ricerca del Laboratorio di Progettazione del Territorio della sede di Latina della Facoltà di Ingegneria Civile Industriale di Sapienza Università di Roma, con l'apporto dei membri del Nodo Pontino della SdT e con il trattamento grafico dell'ing. Gianluca Vavoli.

gna Romana, sia il versante tirrenico dei Monti Lepini e, in parte, dei Monti Ausoni, connessi dalla Valle dell'Amaseno.

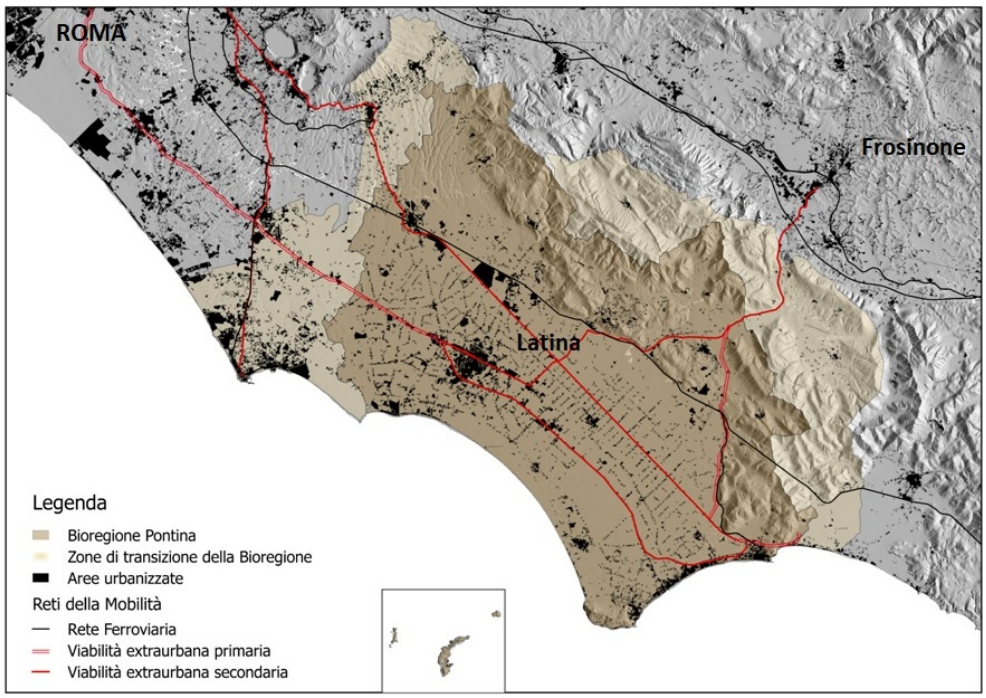

Fig.1 - Delimitazione della Bioregione Pontina

Nella carta sono state riportate delle zone di transizione che indicano le parti che sfumano nelle altre bioregioni, ovvero le zone in cui i confini delle diverse cartografie tematiche e disciplinari di analisi del territorio, non consentono di determinare in modo univoco l'appartenenza alla Bioregione Pontina. In particolare, da ovest a nord, si individua la fascia dei Comuni di Anzio, Nettuno, Aprilia (Campagna Romana), Velletri (Colli Albani), Artena, Colleferro (Valle del Sacco); a est l'area di transizione dei Comuni di Carpineto Romano (Monti Lepini della Città Metropolitana di Roma Capitale), Giuliano di Roma, Villa Santo Stefano, Amaseno (ambito del frusinate) Monte S. Biagio e parte della piana di Fondi (ambito sud Pontino).

Il volume si compone di due capitoli introduttivi. Il primo di Filippo Schilleci definisce, alla luce del dibattito nazionale e internazionale, il concetto di bioregione. Il secondo di Alberto Budoni introduce ai caratteri e alle problematiche della Bioregione Pontina, dove nella conclusione si tracciano linee di azione progettuale e relativi strumenti-interventi, anche in riferimento agli scritti degli altri autori. Questi ultimi sono raccolti in due sezioni. La prima, dal

titolo: *Studi su ambiente e sistemi insediativi*, contiene gli studi riguardanti l'ambiente e il sistema insediativo della Bioregione Pontina, studi che trattano in particolare delle problematiche di gestione della risorsa idrica sotterranea, di Claudio Alimonti, degli eventi alluvionali, di Francesco Cioffi e Vincenzo Scotti, delle condizioni delle aree protette e della biodiversità, di Sergio Zerunian, della consistenza e del degrado del patrimonio dei centri storici del versante tirrenico dei Monti Lepini, di Maria Martone, dell'assetto insediativo determinato dai corridoi infrastrutturali e delle potenzialità del tram-treno, di Valerio Mazzeschi.

La seconda sezione, dal titolo: *Studi sulla tecnologia per la sostenibilità ambientale*, comprende gli studi di carattere tecnologico che riguardano: l'efficienza energetica dei sistemi idrici integrati, di Alessandro Corsini, Sara Feudo, Fabrizio Bonacina, Chiara Alfiero, Ennio Cima, la sostenibilità economica e ambientale degli impianti per la produzione di biogas da reflui zootecnici, di Andrea Cappelli, Silvano Simoni, Marco Centra, di tecniche innovative di consolidamento dei terreni per la mitigazione dei geo-rischi, di Ignazio Paolo Marzano, Giuseppe Iorio, Giuseppe Panetta, del riciclo meccanico dei rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche, di Giuseppe Bonifazi, Riccardo Gasbarrone, Silvia Serranti, di tecnologie innovative per il recupero e il controllo degli aggregati riciclati, di Giuseppe Bonifazi, Roberta Palmieri, Silvia Serranti.

Come si è detto, la pubblicazione lascia aperte molte questioni, prima fra tutte la possibilità di sviluppare i contenuti trattati secondo un approccio effettivamente transdisciplinare, ovvero capace di andare oltre gli steccati disciplinari e una interdisciplinarità 'di convenienza' che dialoga solo per giustapporre parti, senza porsi veri obiettivi di confronto. In questo senso, le linee d'azione per scenari di futuro tracciate nel contributo di Alberto Budoni, possono essere utili per rendere più organiche le attività di ricerca che si svolgono nella sede di Latina di Sapienza Università di Roma, oppure per individuare nuove linee di ricerca sulla Bioregione Pontina ancora da indagare. Tuttavia, non sono sufficienti alla transdisciplinarità se non si legano ad applicazioni concrete dei progetti di territorio di cui fanno parte le stesse linee di ricerca. In altre parole, occorre affiancare all'approfondimento analitico e alla riflessione teorica di ogni ricercatore un terreno di confronto comune costituito dall'applicazione ad una o più esperienze progettuali nel territorio bioregionale, dove al centro dell'attenzione sono i problemi che impediscono un uso sostenibile del patrimonio territoriale e un autogoverno delle comunità che lo utilizzano. Dunque, si dovrà partire dai problemi del territorio mettendo in secondo piano gli obiettivi di efficacia che in ogni campo disciplinare si perseguono in nome soprattutto delle politiche di finanziamento delle universi-

tà e della ricerca, sempre più appiattite sui luoghi comuni dell'efficienza del mercato. Costruire questi terreni di confronto progettuale non è facile culturalmente e soprattutto finanziariamente, ma il lavoro svolto per questa pubblicazione incoraggia a trovarli e a suggerirne alcuni su cui proseguire le attività. Tre ambiti di intervento appaiono quelli più significativi rispetto agli interessi dei ricercatori e alle problematiche della Bioregione Pontina che emergono dai loro contributi. Il primo riguarda la risorsa acqua e il sistema idrografico, in cui le applicazioni possono spaziare dal promuovere un tavolo del bilancio idrico della Bioregione alla riqualificazione di un'asta fluviale attraverso un contratto di fiume. Il secondo ambito comprende le tematiche della riconversione energetica e dell'economia circolare, con la possibilità di unire a bilanci energetici e di risorse sull'intero territorio bioregionale lo sviluppo di fablab in cooperazione con il tessuto delle imprese locali, in cui sperimentare e diffondere nuove tecnologie. L'ultimo ambito include gli aspetti della rigenerazione urbana e della mobilità-accessibilità, in cui è possibile muoversi dalla considerazione di interventi di riqualificazione dei tessuti esistenti, anche considerando le possibili innovazioni costruttive, alla dimensione bioregionale delle politiche infrastrutturali basate sulla capillarità delle linee su ferro, l'organicità con le reti della mobilità dolce, la capacità di queste reti di migliorare la qualità urbana.

Non sarà facile rendere concrete queste prospettive di lavoro, tuttavia la domanda di approcci integrati ai problemi territoriali sta aumentando così come la consapevolezza di tanti ricercatori di doversi unire per uno sviluppo diverso e di contribuire alla diffusione di una cultura che consideri il territorio, non solo formalmente, un bene comune.

La bioregione urbana.
Da modello interpretativo a categoria progettuale

Filippo Schilleci

Il confronto sul tema della bioregione rappresenta, oggi, un contributo fondamentale sia per la conoscenza dei territori che per la costruzione stessa del progetto di territorio. L'impostazione concettuale che sta dietro alla 'visione' Bio-regionalista, infatti, permette di pensare a un progetto che trova le sue radici, sempre più indissolubilmente, nella conoscenza del territorio in tutte le sue forme e nella relazione di tutte le sue componenti.

Le riflessioni contenute in questo volume si confrontano proprio su questo nuovo approccio, e lo fanno da numerosi e differenti punti di vista accomunati, però, da un unico desiderio: guardare, e progettare, il territorio con occhi nuovi per giungere a un progetto privo di preconcetti e profondamente legato alle specificità del contesto territoriale di riferimento. Il territorio in questione è quello della bioregione Pontina. Muovendosi in questa direzione i suoi territori sono dapprima presentati nella loro evoluzione storica da Alberto Budoni, che nel suo capitolo introduttivo ne descrive i processi di trasformazione e i caratteri fisici, per essere successivamente studiati e approfonditi attraverso molteplici punti di vista e differenti scale, da quella globale a quella locale. Da questo punto di vista, il volume, restituisce non soltanto la ricchezza e la complessità della bioregione Pontina, ma la stessa natura interdisciplinare della ricerca teorico-pratica sui temi del bioregionalismo. E per tali ragioni, al fine di comprenderne pienamente il contributo del volume sia in termini metodologici che di contenuto, trovo estremamente utile introdurre brevemente il dibattito sviluppatosi attorno al tema della bioregione. Un dibattitto relativamente recente che, proprio per questa sua diffusione negli ultimi quarant'anni, dimostra le difficoltà di affermazione di un sistema di pensiero e azione ecologicamente fondato.

Il concetto di bioregione deriva da quello più complesso di Bio-Regionalismo che Peter Berg (1977; 1978), tra la fine degli anni sessanta e l'inizio degli anni settanta, descrive come un fenomeno culturale con sviluppi politici, economici e ambientali, basato sull'individuazione e lo studio di aree naturalmente definite, chiamate appunto Bioregioni, e che poggia sui principi dell'ecologia. Berg elabora il suo concetto guardando al territorio come un luo-

go dove si vive, dove si lavora e identificandolo come un ambito unico e omogeneo dove coniugare tutti gli elementi e tutte le azioni, dove la morfologia, gli spazi e gli abitanti si integrano, riportando "l'attenzione sul rapporto tra città e campagna, sul loro legame organico deformato dalle logiche economico finanziarie che riducono il suolo e le componenti fisiche a supporti normalizzati dei meccanismi del mercato", come lo stesso Alberto Budoni dichiara all'inizio del suo saggio introduttivo in questo stesso volume.

Del resto, già sotto il profilo etimologico, il termine bioregione riassume questo principio. *Bio-Reggere* ovvero *Governare la vita*, azione, quella del governarla, basata sulle regole della natura e non su quelle create dall'uomo. E se il sistema di regole è quello della natura va da sé che il territorio, da una prospettiva bioregionalista, non può essere identificato sulla base di criteri economico-amministrativi ma vada interpretato e definito come un insieme di Bioregioni. Unità territoriali che obbediscono a regole ecologiche, senza una dimensione prestabilita e che presentano caratteri di omogeneità. Ne sono esempi le valli fluviali o le catene montuose, territori dove possono essere presenti diversi ecosistemi che coesistono tra loro (POLI, 2012).

Pur in una loro coerenza interna ben definita, da scoprire e interpretare, le Bioregioni tessono relazioni tra loro sempre secondo i principi dell'ecologia. E tale aspetto richiama un altro concetto di interpretazione, e di progetto, del territorio molto importante ed efficace se compreso e ben utilizzato, quello della connettività e dell'infrastrutturazione ecologica (SCHILLECI, 2012).

Come appena detto, ovviamente, ogni bioregione ha delle sue regole interne. Lo sforzo è quello di conoscerle sia per definirle, sia per governarne le possibili trasformazioni. L'approccio suggerito da Peter Berg è di guardare alla bioregione come alla propria casa, come a un 'terreno geografico', un 'terreno della coscienza', e come tale riconoscerne tutte le potenzialità e le risorse naturali, sociali e culturali, alla ricerca di un modo di vivere sostenibile e locale in armonia con le leggi della natura e con tutti gli esseri viventi (BERG, 1977). Come affermato da alcuni dei principali esponenti del bioregionalismo (BERG, 1982; TUKEL, 1982; TODD and TUKEL, 1981), occorre ricercare un differente modello di sviluppo delle comunità, che non passi attraverso la distruzione del luogo in cui si vive. Quest'ultimo monito richiama immediatamente alla mente il tema dell'autosostenibilità, che come sottolinea Magnaghi (2014), presuppone da un lato un ridimensionamento della dimensione economica nei processi di trasformazione del territorio, dall'altro richiama all'autodeterminazione delle comunità locali (rispetto a un astratto livello globale delle decisioni) e alla capacità della comunità antropica di sostenere se stessa facendo sì che l'ambiente naturale possa sostenerla nella sua azione.

Sulla stessa lunghezza d'onda Thomas Rebb definisce il Bio-regionalismo come una "forma di organizzazione umana decentrata che, proponendosi di mantenere l'integrità dei processi biologici, delle formazioni di vita e delle formazioni geografiche specifiche della bioregione, aiuta lo sviluppo materiale e spirituale delle comunità umane che la abitano" (MAGNAGHI, 2014, 8) che la vivono interamente e intensamente, pensando in modo bioregionale.

Tale concetto, seppur recente, prende le sue mosse da vari ambiti scientifici che, ognuno per le sue specifiche peculiarità, lo rende complesso e allo stesso tempo efficace per l'approccio territorialista. Un primo aspetto, come già accennato, è certamente quello ecologico (TODD and TODD, 1984; SALE, 1991) che si coniuga con quello sociale (BERG, 1978) e a quello socio-ecologico (BOOKCHIN, 1989). È presente poi l'aspetto bio-economico (LATOUCHE, 2008), quello geografico-ecologico (VIDAL DE LA BLACHE, 2008) e quello relativo alla regione della comunità umana di Mumford (1963).

Se questi sono gli ambiti di studio scientifici principali su cui possiamo ritrovare i fondamenti del pensiero Bio-regionalista, ve ne sono altri, non scientifici ma certamente altrettanto portatori di cultura, che ci indicano come le radici del pensiero possono essere ritrovate in tutte le culture e in tempi precedenti. Basti pensare agli aborigeni australiani, ai nativi americani, o ancora, con esempi più vicini a noi, alle comunità montane dei nostri territori interni.

Altro riferimento importante, nazionale anche se con una prospettiva sempre più internazionale, parlando di Bio-regionalismo è quello della scuola di Alberto Magnaghi che da molti anni lavora sia sulla teoria che sulle pratiche del concetto di bioregione e che nel 2011 ha dato vita alla Società dei Territorialisti e delle Territorialiste[1].

L'approccio territorialista declina il concetto di bioregione a partire dal riconoscimento del processo co-evolutivo che lega l'insediamento umano e l'ambiente inteso in un'accezione ampia del termine che non può essere circoscritto in maniera univoca né alle sole componenti naturali né alle dinamiche culturali. La bioregione è piuttosto l'esito di dinamiche relazioni tra componente antropica e componente naturale, ossia 'un sistema vivente ad alta complessità' (CAPRA, 1997; SARAGOSA, 2005; MAGNAGHI, 2010).

Per chiarire i principi su cui si basa l'idea di bioregione, Magnaghi (2013) riprende il concetto della 'sezione di valle' proposta da Patrick Geddes che sperimenta tale metodo per rilevare valori del territorio e soprattutto della civil-

[1] La Società dei Territorialisti e delle Territorialiste promuove ambiti di ricerca-azione multidisciplinare sui territori partendo dal presupposto culturale che sia necessaria una critica agli approcci mainstream di matrice tecnica e rivendicando una chiara distinzione tra scienze umane e scienze della natura. Tale attività scientifica e culturale si esplicita sia attraverso la Rivista di Studi Territorialisti, sia attraverso convegni e giornate di studio e confronto di cui il presente volume ne raccoglie gli esiti.

tà. Nel suo testo, divenuto riferimento fondamentale per gli studi territorialisti, egli afferma che

*[...] la sezione di valle è la base di ogni rilevamento. Dal suo esame possiamo infatti ricavare, seguendo il metodo al quale ho accennato, moltissimi specifici e ben precisi valori di civiltà. Possiamo scoprire che il luogo e il tipo di lavoro che vi si svolge determinano profondamente i modi di vita e le istituzioni della gente che vi abita. Questa è la vera essenza dell'interpretazione in chiave economica della storia, anche se finora è stata praticamente ignorata dagli economisti, sia ortodossi sia socialisti (*GEDDES*, 1970, 369).*

In particolare, l'approccio territorialista recupera alcuni paradigmi fondativi del pensiero geddesiano che riconosco il territorio come prodotto di un processo co-evolutivo fra luogo (*place*), lavoro (*work*) e abitanti (*folk*). Tali relazioni possono essere svelate solo attraverso analisi di lungo periodo (*reliefs and contours*) e costituiscono le regole invarianti della bioregione. Al medesimo tempo, il progetto deve tendere verso la valorizzazione delle peculiarità e dell'unicità identitaria (*uniqueness*) di ogni regione e di ogni città.

Lo stesso Geddes (1970), in relazione all'utilità del suo metodo, afferma che nella sezione di valle tutte le occupazioni legate alla natura hanno il loro posto, e che passato e presente non possono non schiudersi sul futuro possibile, poiché lo studio delle cose come sono, cioè quali sono divenute, deve sempre suggerire idee per il loro ulteriore divenire, le loro ulteriori possibilità. Di conseguenza i rilevamenti hanno un interesse pratico che va al di là di quello puramente scientifico. In altre parole il rilevamento costituisce una preparazione al piano e ne è la logica premessa.

Infine, l'approccio territorialista pone attenzione ad un passaggio chiave legato alle dinamiche territoriali contemporanee, ossia il passaggio dal concetto di bioregione a quello di bioregione urbana, trasponendo la sfida dell'urbanizzazione globale in ambiti urbani e guardando all'urbanità dei luoghi e a nuove relazioni sinergiche tra urbano e rurale.

La bioregione urbana deve essere intesa come sforzo progettuale per "trovare alternative al futuro catastrofico delle megacities e delle urban region", per progettare la "scomposizione in luoghi urbani e la ricomposizione reticolare policentrica in sistemi bioregionali" (MAGNAGHI, 2014, 5).

Come conseguenza di tale sforzo, uno dei temi che deve guidare il progetto di territorio è quello della riappropriazione da parte degli abitanti dei poteri di determinazione dei propri ambienti di vita e dello spazio pubblico. Poteri sottratti dalla costruzione di macchine tecno-finanziarie sempre più globali e aspaziali e che hanno nel tempo trasformato gli abitanti in utenti e consumatori.

Mettendo in relazione l'approccio Bio-regionalista, il concetto di bioregione urbana e il progetto di territorio potremmo dire che quest'ultimo dovrebbe trattare in modo integrato, per un equilibrio co-evolutivo e un'equità territoriale, alcune componenti precise:

- economiche;
- politiche;
- ambientali;
- dell'abitare.

Come già detto a proposito del concetto di bioregione, anche la bioregione urbana non ha una dimensione predefinita, e dipende da come risultino combinate le quattro componenti può essere identificata in differenti parti di territorio. Giuseppe Dematteis la identifica, ad esempio, in un sistema territoriale locale (2001), così come Daniela Poli ne riconosce i tratti in un ambito di paesaggio (2012). Ma potrebbe anche essere riconosciuta in un bacino idrografico, come scrive Nebbia (2012) o in un sistema distrettuale (BECATTINI, 2009), o ancora, in un sistema costiero come qualche anno fa suggeriva Etienne Dalmasso (1972). Credo che ancora una volta sia utile ricorrere alle definizioni di Alberto Magnaghi per comprendere quanto la bioregione urbana sia da intendere come un sistema vivente ad alta complessità. Magnaghi scrive, infatti, che

La bioregione urbana è un sistema territoriale locale dotato di forme di autogoverno finalizzate all'autosostenibilità del sistema stesso e al benessere degli abitanti e che, a tal fine, attivano sistemi produttivi a base locale fondati sulla valorizzazione delle risorse patrimoniali di lunga durata (beni comuni ambientali, territoriali, paesaggistici, socioculturali) e promuovono politiche finalizzate alla chiusura locale tendenziale dei cicli delle acque, dei rifiuti, dell'alimentazione, dell'energia (MAGNAGHI, 2014, 10).

Inoltre molti sono i fattori che la caratterizzano e tra questi, ci ricorda ancora Magnaghi (2014), rivestono particolare importanza:

- l'accessibilità;
- la complessità funzionale, urbana ed ecologica;
- la presenza di sistemi fisiografici, idrografici e paesaggistici differenziati;
- le relazioni fra costa ed entroterra costieri;
- le relazioni fra pianure e sistemi vallivi collinari e montani;
- i nodi orografici e valli fluviali;
- i sistemi urbani, infrastrutturali e rurali.

È quindi uno strumento interpretativo trattabile come un sistema di valutazione per affrontare e definire i caratteri del degrado presente nelle nostre urbanizzazioni diffuse posturbane, per affrontare una riprogettazione multi-

funzionale degli spazi aperti e di reti complesse di centralità urbane.

Concettualmente la bioregione urbana può risultare molto più potente di una sola metropoli, o di un sistema metropolitano, in quanto un progetto di territorio basato su tale concetto produce più ricchezza attraverso la valorizzazione e la messa in rete di ogni suo nodo periferico. Evita peraltro congestioni, inquinamenti, diseconomie esterne riducendo i costi energetici e i costi da emergenze ambientali, riducendo la mobilità inutile alla fonte, costruendo equilibri ecologici locali, che a loro volta riducono l'insostenibilità dovuta al prelievo di risorse da regioni lontane e impoverite.

Il passaggio dalla teoria alla pratica è sempre una scommessa. E gli scritti contenuti in questo volume sono gli esiti di una scommessa che i curatori hanno fatto e con ottimi risultati. Un primo passo è stato quello dell'identificazione, nel territorio pontino, di una bioregione. Il successivo quello di applicare l'approccio Bio-regionalista allo studio condotto sia in fase analitica sia nell'ottica di una futura progettazione. Il metodo è stato, infatti, recepito e scomposto in differenti analisi per essere poi ricomposto in una matrice su cui poi basare un possibile progetto di valorizzazione dell'area.

Quattro gli sguardi che sono emersi e che strutturano il lavoro: quello sulla biodiversità; quello sull'efficienza energetica; quello sul patrimonio insediativo; quello sulla mitigazione. Ed è innegabile che sono sguardi propri della cultura Bio-regionalista che hanno portato a mettere in evidenza la conoscenza completa dei meccanismi che regolano il territorio in questione e che possono certamente rappresentare un punto di partenza per futuri progetti di tale territorio.

Riferimenti bibliografici

BERG P. (1977), "Strategies for Reinhabiting the Northern California Bioregion", *Seriatim: the Journal of Ecotopia*, vol. 1, pp. 2-8.

BERG P. (1978 - Ed.), *Reinhabiting A Separate Country: A Bioregional Anthology of Northern California*, Planet Drum, San Francisco.

BERG P. (1982), *Figures of Regulation: Guides for Re-balancing Society with the Biosphere,* Planet Drum, San Francisco.

BECATTINI G. (2009), *Ritorno al territorio,* IlMulino, Bologna.

BOOKCHIN M. (1989), *Per una società ecologica*, Èleuthera, Milano.

CAPRA F. (1997), *La rete della vita. Una nuova visione della natura e della scienza,* Rizzoli, Milano.

DALMASSO E. (1972), *Milano, capitale economica d'Italia,* FrancoAngeli, Milano.

DEMATTEIS G. (2001), "Per una geografia della territorialità attiva e dei valori territoriali", in Bonura P. (a cura di), *SLoT quaderno 1*, Baskerville, Bologna, pp. 11-30.

GEDDES P. (1970), *Città in evoluzione,* Il Saggiatore, Milano.

LATOUCHE S. (2008), *Breve trattato sulla decrescita serena*, Bollati Boringhieri, Torino.

MAGNAGHI A. (2010), *Il progetto locale. Verso la coscienza di luogo,* Bollati Boringhieri, Torino.

MAGNAGHI A. (2013), "Nuove forme di popolamento rurale per la qualità del paesaggio bioregionale", in POLI D. (a cura di), *Agricoltura paesaggistica. Visioni, metodi, esperienze,* Firenze University Press, Firenze, pp. 35-62.

MAGNAGHI A. (2014), *La regola e il progetto. Un approccio bioregionalista alla pianificazione territoriale*, Firenze University Press, Firenze.

MUMFORD L. (1963), *La città nella storia,* Edizioni di Comunità, Milano.

NEBBIA G. (2012), "Prefazione", in ERCOLINI M. (a cura di), *Acqua! Luoghi/paesaggio/territorio,* Aracne, Roma, pp. 17-20.

POLI D. (2012 - a cura di), *Agricoltura paesaggistica. Visioni, metodi, esperienze,* Firenze University Press, Firenze.

SALE K. (1991), *Le ragioni della natura. La proposta bioregionalista*, Èleuthera, Milano.

SARAGOSA C. (2005), *L'insediamento umano. Ecologia e sostenibilità,* Donzelli, Roma.

SCHILLECI F. (2012 - a cura di), *Ambiente ed ecologia. Per una nuova visione del progetto territoriale*, FrancoAngeli, Milano.

TODD N.J. e TODD J. (1984), *Bioshelters, Ocean Arks, City Farming. Ecology as the Basis of Design,* Sierra Club Books, San Francisco.

TODD J. e TUKEL, G. (1981), *Reinhabiting Cities and Towns: Designing for Sustainability,* Planet Drum, San Francisco.

TUKEL G. (1982), *Bioregional Model: Clearing Ground for Watershed Planning*, Planet Drum, San Francisco.

VIDAL DE LA BLACHE P. (2008), *Principes de Géographie humaine*, L'Harmattan, Paris.

Caratteri del territorio e linee di azione per scenari di futuro della Bioregione Pontina

Alberto Budoni

Abstract

TERRITORIAL CHARACTERISTICS AND ACTION LINES FOR FUTURE SCENARIOS OF PONTINA BIOREGION. After reviewing the effectiveness of the bioregion concept as an instrument for interpreting the organisation of human settlements in a territory as the starting point for promoting its self-sustainable development in the context of a new pact between city and countryside, the article turns to the factors that determine the geographical boundaries of a bioregion. The author highlights the need for an interdisciplinary approach that views the territory's natural and man-made characteristics as being 'co-evolutionary', incorporating its environmental factors, economic activities and settlement network in the context of an integrated analysis that also takes account of its historical process of territorialization. The author adopts this methodological approach to describe the main stages of territorialization that have characterised the Pontina Bioregion, located about 70 km south of Rome, between the consolidation of the early settlements of ancient Latium Vetus and the process of deterritorialization generated by the so-called 'integral reclamation' of the 1920 and 1930s. A brief description of a territory that has been adversely impacted by unsustainable development models brings to light both the inadequacy of the instruments available for territorial and settlement design and especially the lack of clear scenarios for the future. The development of such scenarios emerges as a strategic objective to be pursued. The article ends with a discussion of possible design proposals and tools.

KEYWORDS: selfsustainable development, territorialization, deterritorialization, territorial design.

1. Attualità del concetto di bioregione

Il bioregionalismo di Patrick Geddes e Lewis Mumford costituisce una delle radici culturali da cui si sono sviluppati il pensiero e l'azione della scuola terri-

torialista, l'insieme di studiosi e gruppi di ricerca composti prevalentemente di urbanisti e sociologi che, a partire dalla fine degli anni Settanta, ha incluso progressivamente altre discipline, dando vita nel 2011 alla Società dei Territorialisti/e (SdT). L'invito di Alberto Magnaghi a riscoprire queste radici e il concetto di bioregione (MAGNAGHI, 2011) si lega in primo luogo alla sua coerenza con l'idea di sviluppo locale autosostenibile teso a perseguire: lo sviluppo verso i bisogni umani fondamentali non riducibili ai soli bisogni materiali; la crescita di autogoverno della società locale; il miglioramento della qualità ambientale (MAGNAGHI, 2014a). Ma la bioregione è anche l'unità territoriale che appare più efficace nel consentirci di interpretare l'organizzazione insediativa del territorio contemporaneo prodotta dallo *sprawl* urbano, ovvero dall'interazione tra aumento dell'accessibilità capillare con mezzi di trasporto individuale e incremento del livello di esternalità degli spazi aperti fuori dalla città compatta dovuto principalmente al decentramento produttivo di industrie e servizi e alle politiche di *welfare*. In particolare, la bioregione ci obbliga a considerare nello stesso insieme gli spazi aperti delle aree agroforestali e le parti urbanizzate sia dense che diffuse. In altre parole, la bioregione riporta l'attenzione sul rapporto tra città e campagna, sul loro legame organico deformato dalle logiche economico finanziarie che riducono il suolo e le componenti fisiche a supporti normalizzati dei meccanismi del mercato. Meccanismi che promuovono nei centri urbani e negli spazi aperti non solo forme d'uso del suolo molto spesso incongruenti con la vocazione dei luoghi ma soprattutto slegate da qualsiasi bilancio integrato tra le risorse dei due ambiti.

Sulla carta i piani territoriali di coordinamento provinciale e più in generale la pianificazione d'area vasta di livello regionale dovrebbero occuparsi di questa problematica di integrazione ma, al di là delle condizioni assai diverse che caratterizzano l'attività di pianificazione istituzionale in ogni regione (ad esempio nella Provincia di Latina non è stato mai approvato un piano territoriale di coordinamento), le tendenze in atto non vanno in questa direzione. Ci riferiamo in particolare alla prevalenza nella pianificazione del territorio, alle varie scale, dei settorialismi (pianificazione trasportistisca, sanitaria ecc.) che in nome di una sostenibilità più o meno intelligente (*smart*) ma sicuramente limitata e incapace di sintesi, riorganizzano il territorio con nuovi standard tecnologici. Inoltre, il perdurare della crisi economica e della carenza di risorse pubbliche uniti alla particolare condizione italiana di delegittimazione della classe politica, ha prodotto una grave incertezza nell'attività e nelle prospettive dell'ente provinciale che, come noto, dovrebbe svolgere un ruolo cruciale nella conoscenza e nel governo del territorio attraverso una visione integrata del rapporto tra le città e il territorio. Certamente il nuovo ente della città metropolitana previsto

dalla Legge Delrio (L. 56/2014) non potrà dare un contributo in questo senso, anzi può rischiare di irrigidire ancora di più l'azione pianificatoria. È evidente come i limiti amministrativi delle 'province metropolitane' molto spesso non siano pertinenti alle trasformazioni del territorio e rispondenti all'estensione delle relazioni sistemiche ma soprattutto poco sentiti dagli abitanti, in particolare quelli delle aree centrali metropolitane. D'altra parte, i rapporti con i territori e gli usi agricoli in genere di una parte significativa degli abitanti delle città si stanno modificando grazie all'intreccio tra aspetti etico-morali, economici e di ricerca del benessere. Le relazioni vanno sempre più allargandosi tra 'gruppi di acquisto solidale' (di cui al comma 266 dell'art.1 L. 244/2007) e i nuovi contadini 'per scelta' (CANALE, CERIANI, 2013), ovvero nuovi agricoltori, spesso provenienti dalle città e di grado culturale elevato, che decidono per il proprio progetto di vita di ritornare alla terra. Molly Scott Cato, bioeconomista definisce "l'economia bioregionale come un sistema di '*home economics*' (economie domestiche) [...] *Home* è un luogo della sicurezza […] dove comincia una strategia per l'approvvigionamento sostenibile e sicuro" (SCOTT CATO, 2013, 4). Anche le forme di *Urban Food Planning* finalizzato alla costruzione di sistemi territoriali del cibo (DANSERO ET AL., 2014) sono significative nell'indicare la possibilità di una rinnovata consapevolezza culturale e tecnica tesa ad

> *accoppiare lo sviluppo e la pianificazione delle nostre città con quello delle risorse agricole circostanti, materiali e immateriali; il sistema della produzione con quello del consumo, l'alimentazione collettiva istituzionale delle scuole di una città con il paesaggio dei territori circostanti, tutti ambiti della nostra società oggi disaccoppiati, distanti, a volte in paradossale conflitto* (BOCCHI, 2013, 167).

Dunque, l'applicazione del concetto di bioregione implica un nuovo patto città-campagna in cui ritrovare: nuove relazioni di coevoluzione fra abitanti/produttori e territorio regionale; comunità locali che sostengono loro stesse (*self-reliance*) assicurandosi che l'ambiente naturale possa sostenerle durevolmente; chiusura locale dei cicli (acqua, cibo, energia, rifiuti); sovranità alimentare e valorizzazione di agricoltura multifunzionale per produrre beni comuni; sviluppo di sistemi economici a base locale per la valorizzazione del patrimonio territoriale e paesaggistico (MAGNAGHI, 2011).

2. Delimitazione e fasi di territorializzazione della Bioregione Pontina

La delimitazione dei confini fisici di una bioregione, così come tutte le defi-

nizioni di ambiti territoriali in cui si confrontano diversi saperi disciplinari orientati all'integrazione, non può derivare dall'applicazione di un processo lineare, ma implica un confronto tra le diverse impostazioni scientifiche di analisi del territorio. Il primo punto di riferimento sono gli aspetti naturali:

La bioregione, al di là dell'ecosistema, è la successiva superiore unità strutturale, costituita da un insieme di ecosistemi disposti topograficamente e climaticamente in modo tale da dar luogo a un territorio distintamente identificabile. Una bioregione è facile da riconoscere ma difficile da definire. Può essere costituita da una grande valle fluviale, da una catena di montagne o da una costa marina. Generalmente le bioregioni vengono identificate in base a caratteri vegetazionali e climatici. Tuttavia, neppure una bioregione è un'isola a se stante, perché all'esterno sfuma in altre bioregioni (TODD N.J., TODD J., 1989, 50).

In una corretta ottica coevolutiva "una bioregione può essere identificata attraverso caratteristiche topografiche, bacini, specie tipiche, colture dominanti, l'artigianato, i prodotti e le culture a cui essi danno luogo. Così essa è co-definita dai sistemi ecologici ed umani" (SCOTT CATO, 2013, 98). Quindi, operativamente, la delimitazione necessita di un lavoro interdisciplinare e transdisciplinare che analizzi i caratteri del territorio mettendo in evidenza i diversi e non convergenti confini. Questa definizione dei confini non avrà velleità di servire alla costruzione di nuovi enti istituzionali, avrà confini sfumati, zone di transizione e servirà in primo luogo a definire un ambito riconoscibile all'interno della più ampia dimensione dell'urbanizzazione contemporanea rappresentata dalle regioni urbane (SOJA, 2015).

Il processo per giungere ad una delimitazione si dovrà riferire principalmente:

1. agli studi e agli strumenti di pianificazione delle tre fondamentali direttrici di tutela (paesaggio, suolo, biodiversità);
2. alla consistenza delle attività economiche e alle potenzialità dello sviluppo locale, con particolare riferimento ai caratteri delle aree agricole;
3. al paesaggio percepito dagli abitanti, comprendente i valori simbolici attribuiti sia a specifiche aree urbane che agli spazi aperti della bioregione;
4. all'organizzazione dell'attuale sistema insediativo da rileggersi principalmente attraverso l'analisi delle morfotipologie, della distribuzione delle centralità e degli spostamenti sistematici (sistemi locali del lavoro) e non sistematici (tempo libero e lavoro precario).

Tuttavia la delimitazione necessita di un altro fondamentale ambito di lavoro che attraversa tutte le componenti prima considerate e riguarda lo studio della storia del territorio e l'analisi delle sue fasi di territorializzazione. In particolare:

il processo di territorializzazione, iniziato con la pratica dell'agricoltura e scandito poi nei secoli dal ruolo delle città e, dall''800, dalla nascita della civiltà industriale, è il primo obiettivo degli studi storici territorialisti. Esso richiede certamente lavori di sintesi, ma deve incentrarsi soprattutto sulla scala regionale e/o locale che parta dalle risorse, le vocazioni, le potenzialità, i caratteri identitari di fondo, le trame fisiche e biologiche dei contesti territoriali (PAZZAGLI ET AL., 2015, 2).

L'analisi delle fasi di territorializzazione è quindi essenziale ma

non è finalizzata né a museificare, né a copiare; ma ad acquisire per il progetto di trasformazione le 'regole' di sapienza ambientale che hanno realizzato il tipo e la personalità del luogo in epoche precedenti; dunque la conoscenza da attivare non è un semplice catalogo di oggetti o di beni culturali, ma la comprensione dei sistemi relazionali e coevolutivi fra ambiente fisico, costruito, antropico (MAGNAGHI, 2001, 26).

In riferimento agli elementi metodologici prima illustrati e attraverso l'analisi delle principali fasi di territorializzazione è stata elaborata una delimitazione della Bioregione Pontina (si veda la figura 1 nell'Introduzione al presente volume). Prima di entrare nelle vicende storiche della bioregione è necessario un cenno alle trasformazioni geologiche (SAVIANO, TOMMASI, 2010) per comprenderne la struttura morfologica. Come si vede nella figura 1, l'attuale configurazione del territorio si è ottenuta attraverso il passaggio dalla fase Pliocene superiore-Pleistocene inferiore, quando il mare lambiva i monti dell'Appennino ed il Circeo era un'isola (schema 1), a quella del Pleistocene medio-superiore in cui si costruiva l'edificio vulcanico laziale (Colli Albani) e l'Isola del Circeo si saldava alla terraferma attraverso dune sabbiose (l'attuale duna antica) formando bacini palustri e lagunari (schema2).

Nel Pleistocene (schema 3) si susseguono le glaciazioni con l'abbassamento del livello del mare e quindi si giunge ai tempi storici (schema 4) in cui si formano le paludi pontine; queste sono costituite: dall'ambito tra i Monti Lepini, la dorsale carsica che alimenta il principale acquifero della pianura[1], e la duna antica, anche con aree al di sotto del livello del mare (in particolare quelle tra la via Appia e la Valle dell'Amaseno e il Comune di Priverno); dall'ambito della duna antica e dei laghi costieri causati quest'ultimi dalla formazione della duna recente (Fig. 2). L'ambito della duna antica era caratterizzato da un ecosistema di foresta planiziaria (Selva di Cisterna e Selva di Terracina)[2] ricchissimo di biodiversità che ha contribuito a consentire la presenza umana nella Bioregione

[1] Si veda il contributo di Claudio Alimonti nel presente volume.
[2] Si veda il contributo di Sergio Zerunian nel presente volume.

Pontina fin dal Paleolitico medio e con continuità nel Paleolitico superiore, nel Neolitico, nell'Eneolitico, continuità in alcuni casi anche nello stesso sito (come per Satricum e il Monte Circeo).

La transumanza, espressione della Civiltà Appenninica, caratterizzerà con continuità il nostro territorio, ma nell'età del bronzo e del ferro appare già un orientamento per un'organizzazione insediativa più stabile su siti posti in posizione di controllo e con parziali fortificazioni artificiali (MIGLIORATI, 1996). Di seguito si riporta una sintesi delle fasi di territorializzazione tesa a mettere in evidenza gli elementi più significativi della struttura insediativa a fronte di una stratificazione di segni e interventi di notevole complessità e in parte ancora da interpretare[3].

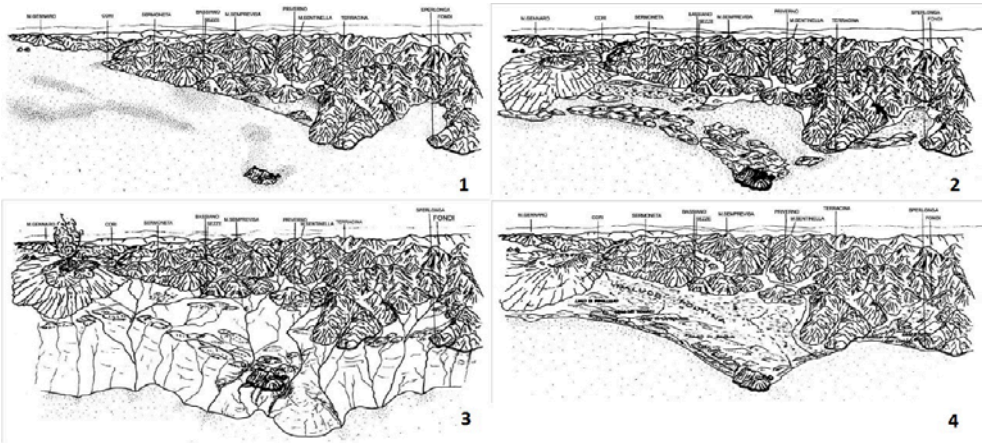

Fig. 1 - Fasi geologiche di trasformazione del territorio (fonte: AAVV, 1980)

2.1. Il consolidamento del sistema insediativo del Latium Vetus

Dalla seconda metà del VII secolo a.C. alla fine del VI secolo a.C. (inizio delle guerre tra Romani e Volsci) si consolidano le strutture urbane (fortificazioni, opere idrauliche, edilizia pubblica e sacra) e il sistema insediativo del *Latium Vetus* con due tipologie di centri urbani: quella collocata lungo la fascia dei primi rilievi dei Lepini, lungo il percorso della cosiddetta Via Pedemontana, coincidenti o limitrofi a quelli contemporanei, Cora (Cori), Norba (Norma), Sulmo (Sermoneta), Setia (Sezze); quella dei centri della pianura, Tarracina (Terracina), Circeii (S. Felice Circeo), Antium (Anzio), e Satricum e/o Suessa Pometia[4].

[3] Per una documentazione iconografica dei principali episodi architettonici e urbani che hanno segnato il territorio si veda Martone (2012) e per alcuni centri dei Lepini al contributo della stessa autrice in questo volume.

[4] Suessa Pometia è di incerta ubicazione, secondo alcuni studiosi potrebbe coincidere con Satricum che, caduta in mano ai Volsci, fu distrutta dai Romani (COARELLI 1990).

Fig. 2 – Dettaglio delle Paludi Pontine nella Carta topografica della Provincia di Roma del 1890, Club Alpino Italiano, Sezione di Roma, Istituto Cartografico Italiano, Parte a sinistra del Tevere scala 1:250.000 (fonte: Lazio in CD dal XVI al XX secolo nelle mappe e nelle vedute della Biblioteca Romana dell'Archivio Capitolino)

2.2. La fase Repubblicana

All'interno del periodo tra la metà del IV sec. a.C. (sottomissione dei Volsci) e la fine del II sec. a.C. (inizio della decadenza della Repubblica Romana), si sviluppa la colonizzazione della Pianura Pontina attraverso due tribù, quella Pomptina a nord e quella Oufentina a sud con la formazione di un ambito di centuriazione (GIA, 2012). Inoltre si costruisce la Via Appia con le sue *stationes* e un canale navigabile che la fiancheggiava per un tratto, il *Decennovium,* parte dell'attuale Linea Pia (MIBACT, 2017). L'azione catalizzatrice della Via Appia influisce sulla costruzione nella Valle dell'Amaseno di Privernum ma non comporta una decadenza nell'uso della Via Pedemontana così come dei centri sulle pendici dei Lepini (CANCELLIERI, DE ROSSI, 1990) (Fig. 3).

In tutta l'area dell'Appia si realizza un esteso sistema di drenaggio con cunicoli sotterranei dotati di pozzi per bonificare il territorio e un canale, il futuro

Rio Martino, secondo alcuni in parte già esistente. (BIBLIOTECA IDRAULICA ITALIANA, 2017).

2.3. La fase imperiale

Nei primi due secoli del periodo imperiale si assiste alla trasformazione della villa rustica in azienda schiavistica, conseguente alla rovina dei piccoli e medi proprietari e allo sviluppo dei latifondi. Si edificano, nelle aree di maggior pregio paesaggistico (litorale e Lago di Sabaudia), delle ville urbane (le villae d'otium dei romani benestanti) nonché la Villa di Domiziano. Lungo la costa viene realizzata la Via Severiana (Fig. 3) e opere idrauliche di notevoli dimensioni (canale della Fossa Augusta, porto canale del Lago di Sabaudia) insieme alla realizzazione o al potenziamento dei porti di Anzio, Astura, Terracina.

2.4 L'affermazione della sovranità pontificia

Dalla metà del secolo VIII alla metà del IX si afferma la sovranità pontificia, da 'domini di un *patrimonium* a sovrani di un *territorium*' (SENNIS, 1996), con il controllo di enti ecclesiastici situati in punti strategici del territorio, la creazione di vaste aziende agricole, le *domuscultae* di Anzio, Conca, Norma e Ninfa (CACIORGNA, 1990), un'accessibilità che dopo l'impaludamento dell'Appia si fonda sulla pedemontana, che ritornerà ad essere per molto tempo il principale riferimento dell'organizzazione insediativa**.**

2.5 La fase dell'incastellamento

L'istituzione delle *domuscultae* è parte dell'economia curtense da cui, con la spinta delle scorrerie saracene, dall'XI secolo alla fine del XIII si costituiranno i castra che saranno il fondamento del potere delle famiglie baronali romane. Tuttavia non c'è un passaggio meccanico da *domuscultae* a castra poiché alcune delle prime sopravvivono nel tempo (SENNIS, 1996). In questa fase si configurano molti nuovi castra tra cui: Sermoneta e Castrum Juliani (Giulianello) dall'XI sec.; Conca (Borgo Montello) e Rocca Circei (S. Felice Circeo) dal XIII sec.; Bassiano, generato dalla migrazione degli abitanti di Acquaputrida, si cinge di mura nel XIII sec.. Dalla distruzione di Privernum si deve la nascita sulle pendici della Valle dell'Amaseno dei centri di Piperno (Priverno), Roccagorga, Maenza, Roccasecca dei Volsci, Sonnino, Prossedi, Pisterzo. Ninfa diventa un centro di notevole importanza per la sua collocazione lungo la strada pedemontana, asse fondamentale del collegamento con il meridione e della Via Francigena del sud, affermatasi con il culto delle reliquie e la costituzione delle polarità religiose delle due abbazie cistercensi di Fossanova (Priverno) e di Valvisciolo (Sermoneta).

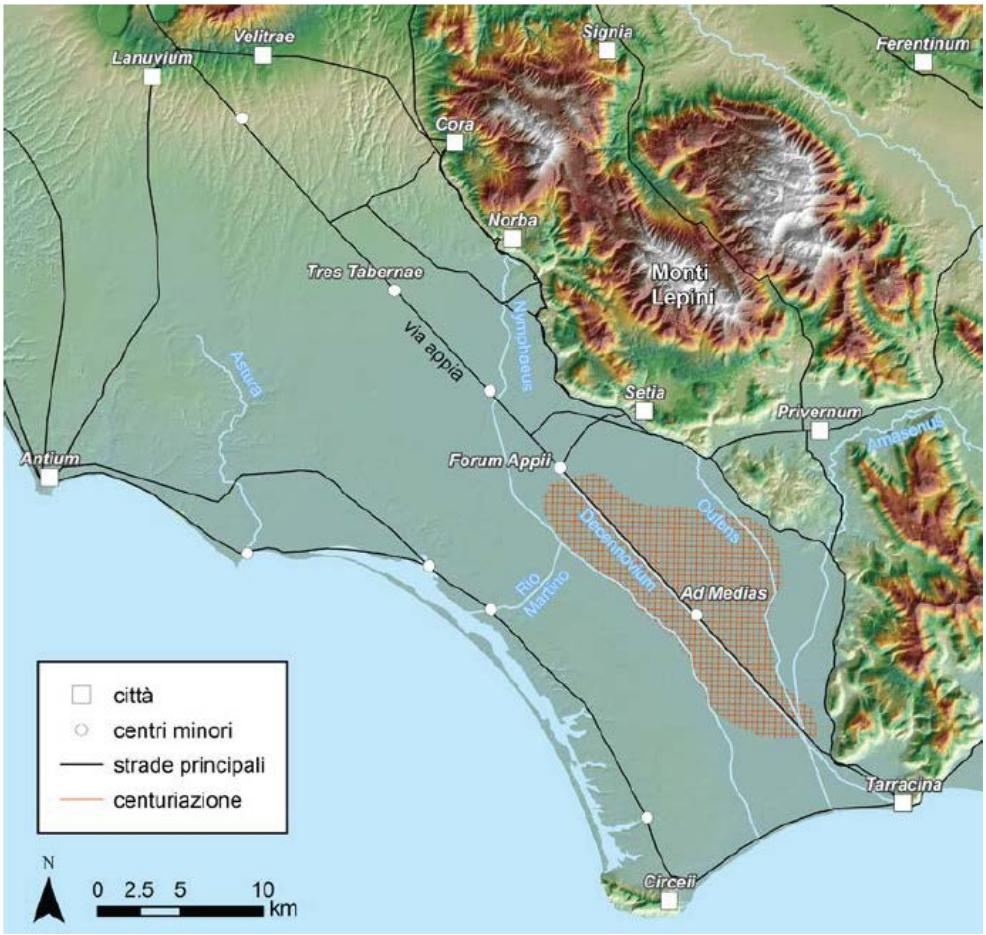

Fig. 3 - I principali insediamenti di epoca romana (fonte: GIA 2012)

Contemporaneamente si consolida l'identità dello Stato Pontificio. Diventa appannaggio esclusivo della Santa Sede il diritto di fondare un castrum nuovo o di fortificare un insediamento preesistente e si proclama l'inalienabilità di un complesso di castra di importanza strategica che vengono dichiarati demanio speciale della Chiesa di Roma (tra questi Acquaputrida, Ninfa, Giulianello, Cori, Cisterna e Terracina, controllati e amministrati direttamente dai rappresentanti del Papa) (SENNIS, 1996).

Nel 1294 con l'elezione di Papa Bonifacio VIII (Benedetto Caetani) la famiglia Caetani diventa una delle più potenti e temute ed un punto di riferimento nell'evoluzione della Bioregione Pontina. Tuttavia, l'autonomia della nobiltà baronale rispetto al potere centrale continuerà a caratterizzare i periodi storici successivi. Le grandi famiglie lotteranno per acquisire territori e con alterne vi-

cende alcune rimarranno nel tempo, altre perderanno influenza, altre ancora scompariranno.

2.6 La fase della modernità: dalla bonifica di Pio VI alla fine della Prima Guerra Mondiale

Dopo il XIII sec. e fino alla bonifica fascista nella Bioregione l'organizzazione insediativa rimane stabile anche se i diversi centri urbani con i loro territori vengono ceduti e scambiati tra le grandi famiglie, godendo dei loro interventi più o meno significativi su edifici e spazi pubblici. Nell'Agro Pontino si succedono diversi progetti ed interventi di bonifica (il canale per 'l'essiccamento' di Bonifacio VIII; il canale Portatore di Leone X; il Fiume Antico, detto poi Sisto, di Sisto V) (BIBLIOTECA IDRAULICA ITALIANA, 2017).

Tuttavia solo nel Settecento si avviano interventi idraulici significativi sulla costa, con la sistemazione dei laghi e del Fiume Astura (MARTONE, 2012) e sulle aree interne con la bonifica di Pio VI, imperniata su Terracina, una rete di canali di scolo (fosse miliari) e lo scavo del nuovo canale navigabile Linea Pio lungo la via Appia (BIBLIOTECA IDRAULICA ITALIANA, 2017). Tuttavia il successo è parziale; si evidenziarono subito dei difetti nelle sistemazioni idrauliche e nelle pratiche colturali che creando delle zone depresse (NICOLAJ, 1800) determinarono il riformarsi di acquitrini. In sintesi, la bonifica di Pio VI (Fig. 4) non riuscì a risolvere i problemi idraulici e nemmeno ad insediare stabilmente nuove abitazioni e a richiamare coloni (FOLCHI, 2000a). Fino alla metà dell'Ottocento, di fatto, prevarrà una sostanziale immobilità (BIBLIOTECA IDRAULICA ITALIANA, 2017). Nel 1861 viene istituito il Consorzio della Bonificazione Pontina al quale il governo pontificio trasferì gran parte degli oneri per il mantenimento della bonifica (FOLCHI, 2000a), ma le dotazioni finanziarie insufficienti e i conflitti sui criteri di gestione portarono nel 1917 allo scioglimento dell'amministrazione ordinaria (FOLCHI, 2000b). Nell'intera bioregione si ha un aumento della popolazione dei centri urbani, già evidente dalla prima metà del Settecento (FOLCHI, 2000b), con significativi incrementi, in genere costanti dal 1871 al 1921. Grazie alla costruzione nel 1892 della linea ferroviaria Velletri-Terracina (DELLA CORTE, SERAFINO, 2017), che seguiva la direttrice dell'antica strada Pedemontana, Velletri rafforza il suo ruolo di capoluogo del Circondario e di polarità di servizi e limita la capacità attrattiva di Frosinone, consolidando la funzione di Terracina come terminale del sistema insediativo pontino. L'asse ferroviario pedemontano si rafforza ulteriormente con la costruzione della direttissima Roma-Napoli già attiva nel tratto Roma-Formia dal 1922 (DELLA CORTE, SERAFINO, 2017).

Per quanto riguarda gli spazi aperti, il territorio agroforestale collinare continua

ad essere caratterizzato dal sostanziale impoverimento della copertura forestale e dei suoli già avviata nell'antichità (BEVILACQUA, 2005), tuttavia inizia la cura del paesaggio che, nelle sue componenti selvagge delle selve della palude e delle rovine di Ninfa (Fig.5), era già conosciuto dai visitatori del '*Grand Tour*'. Sono i Caetani a distinguersi per questa cura, in particolare nel Borgo di Fogliano[5].

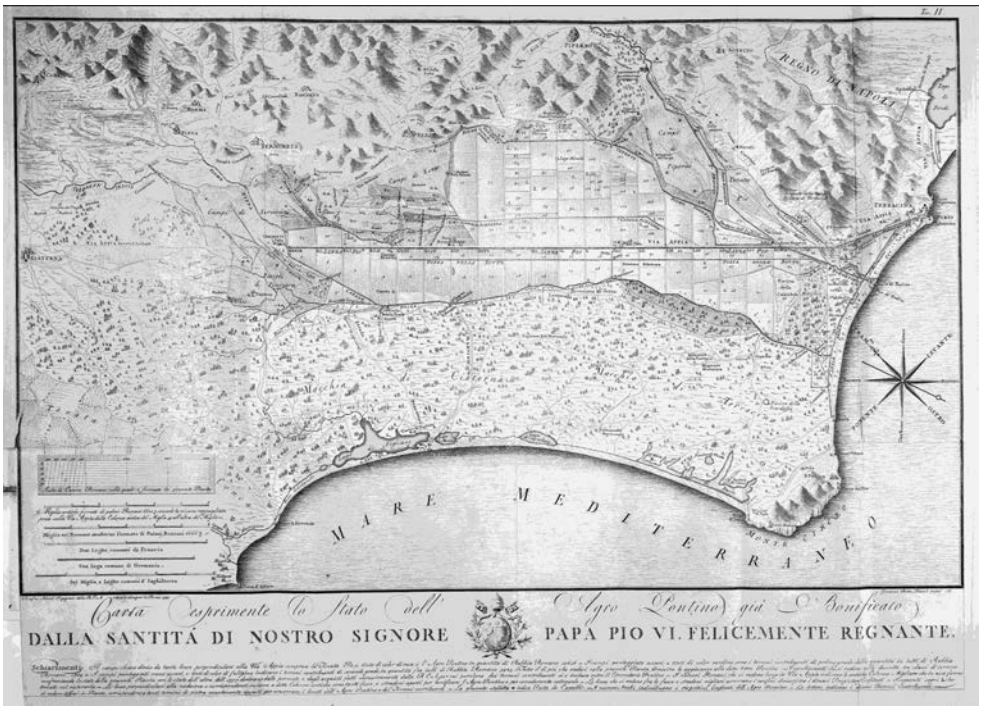

Fig. 4 - Giovanni Battista Dasori 1795: la carta illustra lo stato del territorio pontino dopo i lavori di bonifica eseguiti per ordine di Pio VI dal 1777 al 1795 secondo il progetto dell'ingegnere bolognese Gaetano Rappini (fonte: Lazio in CD dal XVI al XX secolo nelle mappe e nelle vedute della Biblioteca Romana dell'Archivio Capitolino)

La pianura ai primi del Novecento, contrariamente allo stereotipo della palude mortifera, presenta un variegato insieme di usi agricoli evidenziato dai dati del Catasto Agrario del 1911 (Ministero di Agricoltura Industria e Commercio 1911). Elemento particolare dell'"economia della palude' era costituito dalle lestre (Fig. 6), aree più o meno vaste a seminativo e prato pascolo per il bestiame, con eventuali aree orticole e per piante da frutto, dotate di capanne o edifici precari di ricovero, concentrate principalmente nella Selva di Terracina e in

[5] La cura del paesaggio dei Caetani proseguirà negli anni venti del Novecento con la realizzazione del Giardino di Ninfa (Fig. 5), oggi monumento naturale, e con l'attività della Fondazione Roffredo Caetani.

quella di Cisterna (FOLCHI, 1994). Le lestre erano di proprietà dei diversi comuni che le affittavano agli abitanti dei paesi limitrofi oppure a quelli provenienti dal frusinate o dai Castelli Romani dalla fine di settembre alla fine di maggio (FOLCHI,1994).

2.7 La deterritorializzazione del Novecento

Tra la fine dell'Ottocento e la fine della Prima Guerra Mondiale due fattori spiccano tra gli altri nel rompere gli equilibri che si erano venuti a costituire nella Bioregione Pontina e nel preludere ad una fase di deterritorializzazione ancora oggi in atto, caratterizzata non dall'abbandono ma da uno sfruttamento forsennato delle risorse ambientali del territorio. Il primo fattore è costituito dal diverso atteggiamento nella lotta contro la malaria che diventa nell'immaginario dell'epoca una delle frontiere del progresso sociale. Alla radice del cambiamento l'impatto sociale indotto dalla sua recrudescenza negli anni Settanta dell'Ottocento con un forte aumento della mortalità a livello nazionale riconducibile alla straordinaria piovosità e umidità del periodo ma soprattutto alla diversa condizione d'uso delle terre comuni, sempre più pressate dall'aumento della popolazione e dalle restrizioni dell'economia di mercato (CORBELLINI, CAPOCCI, 2017). Alla fine del secolo e nei primi del Novecento si aggiungono a dare un forte impulso ulteriori elementi: i progressi della scienza medica che individuano con certezza le cause della malaria; la diffusione dei presidi medico-sanitari e l'intensificazione della profilassi del chinino; l'azione educativa dei maestri promossa da Angelo Celli (FOLCHI, 1994); l'individuazione e la perimetrazione nel 1902 con legge nazionale delle zone malariche, in cui l'Agro pontino, dal mare alle pendici dei Lepini, fu incluso per intero (FOLCHI, 2000a). Il secondo fattore, di gran lunga il più importante nella rottura degli equilibri, è legato alle attese dei reduci dalla guerra di ottenere la terra in proprietà come ricompensa per i servigi prestati.

La spinta creata dalle vicende belliche si associa alle già presenti rivendicazioni sociali che, a testimonianza del livello di conflitto raggiunto, nel territorio pontino hanno un episodio emblematico nell'eccidio di Roccagorga del 6 gennaio 1913.[6]

I due fattori di squilibrio si innestano nel contesto problematico della gestione del Consorzio della Bonificazione Pontina che, commissariato, avviò la realizzazione del progetto dell'ing. Giuseppe Marchi, ingegnere capo del Genio

[6] Il 6 gennaio 1913 una manifestazione degli abitanti di Roccagorga contro il Sindaco e la sua amministrazione in relazione alle condizioni insostenibili legate alle decime da corrispondere ai proprietari delle terre, alla tassazione degli usi civici, alle condizioni abitative, fu repressa dall'esercito e dai carabinieri provocando 7 morti e 23 feriti (http://www.eccidio6gennaio.altervista.org/).

Civile. Il progetto, che fu il principale riferimento tecnico per la bonifica idraulica dell'Agro pontino, prevedeva la separazione delle acque in alte, medie e e basse, nonché di dividere l'Agro pontino in due comprensori di bonifica, quello già esistente in riva sinistra del Fiume Sisto e quello in riva destra di Piscinara. Quest'ultimo fu istituito nel 1919 e i lavori di bonifica iniziarono nel 1926 (ORSOLINI CENCELLI, 1935).

Fig. 5 - Il giardino di Ninfa (foto dell'autore, anno 2008)

Fig. 6 - Lestra Pantano del Tufo (Conca), 1/2/1928 (fonte: Consorzio di Bonifica dell'Agro Pontino, Archivio Fotografico Fondo Giovanni Bortolotti)

La gestione dei due Consorzi avrebbe dovuto coinvolgere i proprietari dei terreni, in particolare le piccole proprietà[7] e le amministrazioni comunali, invece "Questo coinvolgimento mancò. Deliberatamente conferendo alla bonifica un carattere coercitivo più di quanto le attribuivano le norme. La bonifica in Agro pontino ebbe una rapidità di esecuzione e un potere autocratico straordinari" (FOLCHI, 2000b, 53). Così, il regime fascista trova nell'Agro pontino il territorio ideale dove poter sviluppare le sue politiche rurali, unendo al rapporto con le grandi proprietà l'azione complementare dell'Opera Nazionale Combattenti (ONC) che, dotata di poteri di esproprio, concessione e assegnazione (ORSOLINI CENCELLI, 1935), diventa la principale esecutrice della bonifica integrale, ovvero la

coordinata esecuzione di tutte le opere fondiarie - di qualunque natura tecnica esse siano: idrauliche, stradali, edilizie, agricole, forestali - necessarie per adattare le terre e le acque a una produzione più intensiva, tale da assicurare lavoro e civili forme di vita rurale a una più densa popolazione (SERPIERI, 1938).

Alla fine del 1931 l' ONC avvia la sua attività nell'Agro pontino con il disboscamento di Piscinara[8], seguito subito dopo dall'inizio dell'appoderamento e la costruzione sulla base di 18 tipi delle case coloniche, assegnate in relazione all'estensione del terreno, alla coltura e al calcolo dell'energia di ogni componente della famiglia secondo parametri per classi di età e sesso (FOLCHI, 2000d).

L' ONC procede alla trasformazione dei villaggi operai realizzati dal Consorzio di Piscinara in borghi, centri di servizio per la vita rurale rinominati con i nomi dei luoghi delle battaglie della Prima Guerra Mondiale, in cui l'organizzazione degli edifici è tesa ad evitare la configurazione di spazi pubblici che possano favorire la costituzione di un nucleo urbano.

D'altra parte, già all'inizio del 1932, Mussolini, in contraddizione con il suo ideale di ruralità e ponendo in evidenza come la bonifica dell'Agro pontino non seguiva l'applicazione di un disegno organico predefinito, assegna all'ONC il compito di realizzare la città di Littoria (l'attuale Latina). A quest'ultima,

[7] Nel Consorzio della Bonificazione Pontina "26 ditte possedevano 16.000 ettari, il 62% circa del comprensorio ripartiti in unità fondiarie non inferiori a 200 ettari. La restante proprietà, molto frazionata, era distribuita in lotti da un terzo di ettaro a 4 ettari con prevalenza dei possessi piccolissimi. Le proprietà piccole […] si trovavano raggruppate in alcune zone ben delimitate e precisamente nei cosiddetti Campi di Sermoneta, di Sezze e di Priverno, nonché nelle vicinanze di Terracina" (FOLCHI, 2000c).

[8] Solo della selva di Terracina, a causa dell'opposizione dell'Autorità Forestale e anche per la presenza di un vincolo panoramico, furono conservati due lembi di foresta che costituirono il nucleo principale del Parco Nazionale del Circeo istituito nel 1934.

inaugurata nel 1932, seguirono Sabaudia, inaugurata nel 1934, e Pontinia, inaugurata nel 1935[9] (Fig. 7).

Le tre città dovevano esemplificare il modello di città rurale del fascismo, rimanendo immuni dalla contaminazione della crescita urbana e lontane dalle linee di trasporto ferroviario che ne avrebbero consentito lo sviluppo. Tuttavia, fin dall'inizio sia Littoria, con la sua dotazione terziaria legata al ruolo di capoluogo di provincia acquisito nel 1934, che Sabaudia, subito apprezzata dai gerarchi fascisti per le sue qualità turistiche, apparvero anomale. Pontinia invece era la preferita dai cultori della ruralità fascista (FOLCHI, 1992).

Nel 1935 l'organizzazione dei territori comunali dell'Agro pontino è ormai definita. Tuttavia, molti dei braccianti che abitano i centri dei Lepini non trovano nei poderi dell'ONC, con il loro vincolo di dovervi abitare stabilmente, un'alternativa coerente al modello di vita da essi praticato.

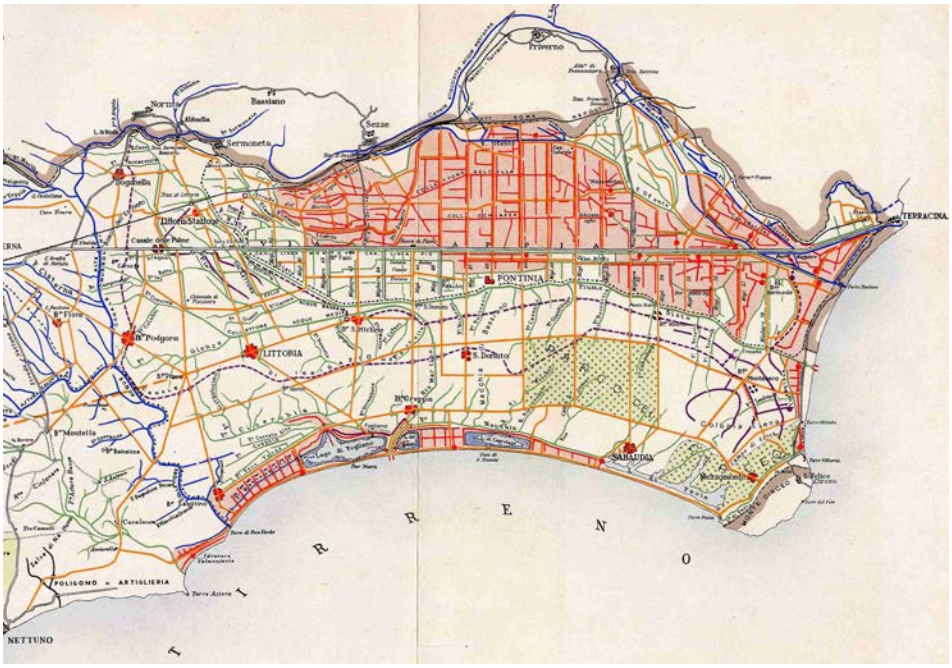

Fig. 7 - Assetto del territorio pontino al termine della bonifica degli anni 30, particolare della carta delle bonifiche eseguite dal Consorzio della Bonifica di Piscinara e dal Consorzio della Bonificazione Pontina (fonte: Lazio in CD dal XVI al XX secolo nelle mappe e nelle vedute della Biblioteca Romana dell'Archivio Capitolino)

[9] Per completare il quadro delle città di fondazione del Lazio a sud di Roma occorre considerare nella zona di transizione della Bioregione pontina Aprilia, inaugurata nel 1937, e nell'Agro romano al confine con il Comune di Roma Pomezia, inaugurata nel 1939.

Quest'ultimo prevedeva la coltivazione dei campi a ridosso della fascia pedemontana, i più fertili, e il ritorno in paese per la notte; d'altra parte, l'appoderamento privato di questa fascia risultava assai problematico per le loro condizioni economiche, escludendoli di fatto dal possesso della terra (FOLCHI, 2000d). Così, nelle aree del Consorzio di Piscinara, come noto, la colonizzazione avviene attraverso l'immigrazione di famiglie provenienti principalmente dal Veneto, dalla Romagna e dal Friuli[10], che in molti casi non hanno nessuna conoscenza del mondo rurale e nonostante il controllo invasivo e rigido dell' ONC hanno molte difficoltà ad ottenere buoni risultati nella produzione agricola. Tali difficoltà non sono dovute però solo ad imperizia. La pretesa di fare dell'Agro pontino uno dei granai d'Italia portò a forzare l'uso di terreni poco o per nulla adatti a questo tipo di coltura costituenti la maggior parte del territorio del comprensorio di Piscinara (TOMMASI, 1935). Anche la forma dell'appoderamento, rigida nella sua parcellizzazione del territorio, non consentì attraverso la formazione di villaggi o gruppi di caseggiati la compensazione dei diversi gradi di produttività del suolo (Fig. 8).

La Seconda Guerra Mondiale porta notevoli danni nel territorio pontino[11] e crea ulteriori difficoltà nella conduzione dei poderi dovuti all'incremento demografico delle famiglie (nel 1949 si ha una media di 11 componenti per famiglia) e alla necessità di riconvertire con colture più redditizie (arboree, orticole e viticole) (MANGULLO, 2015). Tuttavia, molte famiglie non sono in grado di sostenere i costi di questa riconversione o di mantenere gli impegni dopo aver ottenuto di firmare i contratti di compravendita dei poderi. Si avvia un processo di abbandono o di cessioni e rivendite speculative che andrà avanti per molti anni e che porterà ad un'immissione di nuovi soggetti imprenditoriali del settore agricolo provenienti dall'esterno e all'uso del suolo per usi diversi da per molti anni e che porterà ad un'immissione di nuovi soggetti imprenditoriali del settore agricolo provenienti dall'esterno e all'uso del suolo per usi diversi da quelli agricoli, in particolare la realizzazione di ville e case per le vacanze (MANGULLO, 2015).

Alla fine del 1950 inizia ad operare la Cassa per il Mezzogiorno che in primo luogo ripristina e completa le opere di bonifica (di notevole rilievo la sistemazione del bacino del Fiume Amaseno), introduce su vasta scala l'irrigazione e crea un ambiente favorevole agli investimenti privati anche attraverso la realizzazione di servizi e infrastrutture (acquedotti, elettrificazione e

[10] Nel 1940 l'ONC indicava che 1.440 nuclei familiari provenivano dal Veneto, 549 dalle province romagnole, 308 dal Friuli, mentre alle popolazioni locali erano destinati solo 291 poderi (MANGULLO, 2015).

[11] I tedeschi, per ostacolare gli alleati, distrussero molte opere di bonifica e allagarono vaste aree.

viabilità tra cui occorre ricordare la trasformazione della strada di bonifica 'Mediana' nel raccordo tra via Pontina e via Flacca) (MANGULLO, 2015).

Fig. 8 - Appoderamento dell'ONC (fonte: Lazio in CD dal XVI al XX secolo nelle mappe e nelle vedute della Biblioteca Romana dell'Archivio Capitolino)

Dopo la metà degli anni Cinquanta l'azione della Cassa si orienta verso il settore industriale e attraverso crediti e agevolazioni si attirano imprese settentrionali e multinazionali che si insediano numerose nel territorio[12], tuttavia:

l'unica ragione che legava le industrie forestiere al territorio era la possibilità di usufruire di condizioni vantaggiose, che potevano essere di volta in volta il basso costo dei terreni e della manodopera ma, soprattutto, gli incentivi statali […]. Sul breve e medio periodo si accentuarono gli squilibri zonali interni alla provincia: alla massiccia industrializzazione del triangolo formato da Latina, Aprilia e Cisterna, fece da contraltare l'isolamento e la marginalità delle aree interne […]. Sul lungo periodo la persistente dipendenza da fattori di attrazione esterni si rivelò invece un elemento di debolezza, soprattutto perché, parallelamente, la capacità attrattiva andò esaurendosi (MANGULLO, 2015, 99).

Negli anni Ottanta la soppressione della Cassa per il Mezzogiorno e succes-

[12] Di matrice tutta italiana e indicativa del fermento industrialista di quegli anni è la costruzione nel 1958 e l'attivazione nel 1962 a Borgo Sabotino della prima centrale nucleare italiana, ora in corso di dismissione.

sivamente del sostegno statale porta a un abbandono del territorio da parte di molte grandi imprese, creando crisi occupazionali e dimostrando la mancanza di un contesto di reale sviluppo locale del settore manifatturiero.

Nei decenni successivi e fino ad oggi, la condizione di incertezza del settore manifatturiero permane, sebbene la presenza di grandi imprese e imprese multinazionali, dell'agroalimentare, gomma-plastica e soprattutto del comparto chimico-farmaceutico è economicamente considerevole e dal punto vista ambientale una fonte di preoccupazione: nella bioregione e nelle sue aree di transizione si contano 11 industrie a rischio di incidente rilevante[13]. Parallelamente anche il settore agricolo converte le sue produzioni verso quelle lattiero casearia, vitivinicola, oleicola, florovivaistica e soprattutto quella ortofrutticola di rilevanza nazionale con il Distretto Agroalimentare di Qualità dell'Ortofrutta (comprendente quasi tutta la bioregione e la Piana di Fondi). Tra le colture del distretto spiccano la coltivazione dell'actinidia e il segmento delle serre orticole per rilevanza economica e per l'impatto sulle falde acquifere, sul suolo e sul paesaggio. Nel quadro delle attuali attività economiche il turismo rappresenta un settore importante ma scarsamente innovativo, concentrato sulle aree costiere e le seconde case e di forte impatto sui valori ambientali dei sistemi dunali del Parco Nazionale del Circeo, elemento di pregio naturalistico della bioregione. Infine, in chiave economica e ovviamente ambientale un ruolo primario è svolto dalla crescita edilizia che, al di là della relativa stasi dell'ultimo decennio, ha investito il territorio sia in forma legale che abusiva. Si sono manifestate significative espansioni dei centri urbani e soprattutto una diffusione insediativa, prevalentemente residenziale e commerciale, consumatrice di suolo e compromettente le attività agricole e il paesaggio lungo la maglia del reticolo stradale della bonifica e nei punti di maggiore accessibilità della fascia pedemontana. D'altra parte la crescita edilizia trova riscontro nello sviluppo demografico. La Bioregione Pontina, 321.145 abitanti nel censimento del 2011, presenta tra il 1951 e il 2011 un saldo positivo del 92%. Tutti i comuni tra le due date censuarie hanno saldi positivi ad eccezione di 6 centri dei Lepini e Ausoni di piccole dimensioni con decrementi nel complesso contenuti. Alcuni comuni della pianura hanno incrementi molto alti e questa diversità tra collina e pianura tuttavia non configura, come per altre zone montane o dell'entroterra collinare italiano, una grave marginalità territoriale. Dei Comuni collinari appartenenti alla Bioregione la maggior parte vengono classificati dalla Strategia

[13] Il dato è riportato dall'Inventario nazionale degli stabilimenti suscettibili di causare incidenti rilevanti ai sensi dell'art. 15, comma 4 del D. Lgs. 17 agosto 1999 n.334 e s.m.i. (http://www.minambiente.it/pagina/inventario-nazionale-degli-stabilimenti-rischio-di-incidente-rilevante-0).

nazionale per le aree interne (UVAL, 2014) come aree intermedie mentre non ne troviamo nelle classi delle aree periferiche e ultraperiferiche; alcuni di questi Comuni sono definiti aree di cintura o, nel caso di Sezze, polo di attrazione intercomunale. Rilevante nella spiegazione dell'andamento demografico anche il ruolo di Roma per i legami che il territorio bioregionale intrattiene con essa. Emblematico il caso di Sermoneta che ha avuto una crescita demografica tra il 2001 e il 2015 di circa il 49% diventando la manifestazione più evidente di un fenomeno di trasformazione in periferia romana della parte settentrionale del territorio Pontino[14].

In conclusione, se consideriamo anche il pessimo stato delle acque del reticolo idrografico, l'estensione del cuneo salino indotto dal prelievo massiccio delle acque sotterranee, la pressione delle attività estrattive sulle pendici dei Lepini, l'abbandono dei siti di cava dismessi, le discariche dei rifiuti da riqualificare, l'alta frammentazione ecologica della pianura con l'isolamento dei serbatoi di naturalità ed infine una mobilità centrata sull'automobile, pericolosa, energivora, che a fronte della complessiva inefficienza del trasporto pubblico alimenta il circolo vizioso dell'insediamento diffuso, risulta chiara l'insostenibilità dell'attuale modello di sviluppo socioeconomico ed insediativo.

Sono condizioni note da tempo e nel corso degli anni sembra di assistere ad un processo di crescita in attesa di qualche forma di collasso, mentre la frammentazione sociale, storicamente incrementata dalla colonizzazione della bonifica fascista ma in fondo già presente nelle divisioni indotte dalle baronie medioevali, ha costituito e costituisce il terreno ideale per le attività di riciclaggio-investimento della criminalità organizzata, un fenomeno grave ed esteso in atto almeno dagli anni Novanta.

3. La definizione di linee d'azione per scenari di futuro attraverso l'elaborazione di progetti di territorio

A fronte di questa situazione la pianificazione territoriale e urbanistica si caratterizza per una netta insufficienza o addirittura assenza. Gli strumenti urbanistici comunali generali sono in gran parte molto vecchi e i processi di pianificazione sono legati a programmi complessi o opportunità di finanziamento di strumenti settoriali. Se questi risultati per i comuni al di sotto dei 15.000 abitanti (nella bioregione sono 13 su un totale di 18) si possono mettere

[14] La linea ferroviaria Roma-Napoli via Latina consente ormai di raggiungere il centro di Roma con tempi più brevi di quanto si possa ottenere sia con il mezzo pubblico che con quello privato da molte periferie della capitale.

in relazione alle condizioni in cui operano i loro uffici tecnici (nella maggior parte dei casi senza personale adeguato), negli altri comuni più grandi si deve parlare di scelte politiche. Soprattutto negli ultimi due decenni, piuttosto che dedicarsi alla costruzione di strumenti generali e coordinati si è preferito lavorare per progetti, in alcuni casi grandi opere, che peraltro sono in gran parte falliti. Anche per quanto riguarda la pianificazione d'area vasta la condizione è negativa: come si è detto, la provincia di Latina è l'unica provincia del Lazio a non avere un piano territoriale di coordinamento (PTPG) approvato e a non averlo mai avuto in relazione a chiare scelte politiche. Comunque, al di là delle specificità del territorio pontino

nel contesto italiano la pianificazione non è la forma della politica, conseguentemente la pianificazione territoriale non guida la formazione delle politiche. Molte altre sedi decisionali pubbliche e private, lecite e illecite, trasformano la pianificazione nella pratica quotidiana del governo del territorio, in un esercizio culturale, in molti casi autoreferenziale, in altri giustificativo di scelte già compiute altrove (MAGNAGHI, 2014a, IX).

Questo ruolo subalterno della pianificazione, spesso camuffato attraverso un efficientismo tecnico-burocratico di facciata, tende a svuotare di spessore il confronto pubblico sulle scelte da prendere per il territorio, anche laddove si parla di piani partecipati. La cartina tornasole di questa subalternità è nella capacità-volontà nei processi di pianificazione di definire ed esplicitare progetti di futuro. Infatti "Troppe volte il progetto di futuro di un territorio non è dichiarato, né disegnato, né comunicato" (MAGNAGHI, 2014a, XII). Il progetto di territorio può svolgere questo ruolo di esplicitazione-definizione assumendo un ruolo chiave nei processi di pianificazione, non solo internamente alla corretta costruzione di adeguati strumenti urbanistici per un ente locale, ma anche dall'esterno, come mezzo per sollecitare gli abitanti a prendere posizione e più in generale per la crescita di una coscienza di luogo. Il progetto di territorio delinea scenari di futuro ma al centro dell'attenzione non sono le previsioni, nella maggior parte dei casi inaffidabili a fronte della complessità dei sistemi territoriali, ma la prefigurazione di visioni di futuro quanto più possibile frutto di interazione e discussione con gli abitanti. Si può procedere seguendo un percorso di *backcasting*:

L'idea centrale del backcasting partecipativo è quella di iniziare con la creazione di una condivisa e desiderata visione del futuro e poi guardare indietro al presente per determinare quali sfide dovranno essere affrontate e per valutare il potenziale di cambiamento. Attraverso questo processo la comunità è stata in grado di fornire indicazioni su quali tipi di azione do-

vrebbero essere presi per cambiare la gestione ambientale attuale e il processo decisionale al fine di raggiungere il futuro desiderato (MACCHI, RICCI, 2016).

Di conseguenza gli scenari territoriali non hanno carattere predittivo ma cognitivo e progettuale. Sono parte integrante di progetti di territorio che prefigurano delle soluzioni organizzative spaziali e tecnologiche, sollecitano l'immaginario collettivo e scaturiscono dall'integrazione tra le discipline, ricercando l'incontro tra quest'ultime e i saperi locali.

Seguendo l'approccio della scuola territorialista al progetto della bioregione urbana (MAGNAGHI, 2014b), di seguito sono evidenziate delle linee di azione progettuale e relativi strumenti-interventi per la Bioregione Pontina, frutto delle attività didattiche e di ricerca svolte dal Laboratorio di Progettazione del Territorio della sede di Latina della Facoltà di Ingegneria Civile e Industriale di Sapienza Università di Roma. La definizione delle linee di azione sono anche il risultato della collaborazione con i colleghi della sede e del Nodo Pontino della SdT, attraverso le attività di ricerca sul territorio con i dottorandi e gli assegnisti (si veda l'introduzione al presente volume):

1A. CONSIDERAZIONE DELLE STRUTTURE AMBIENTALI RELATIVE ALL'EQUILIBRIO IDROGEOMORFOLOGICO E ALLA SALVAGUARDIA DELLA BIODIVERSITÀ COME FONDAMENTA DELLA BIOREGIONE

Definire le invarianti strutturali del sistema abiotico in riferimento alle risorse acqua e suolo, e integrarle nel disegno della rete ecologica, risolvendo le contraddizioni tra prevenzione del rischio idrogeologico, necessità dell'agricoltura (in gran parte da riconvertire con produzioni più rispettose dell'ambiente), tutela naturalistica, accessibilità, principalmente attraverso la multifunzionalità dei 'corridoi blu'.

Strumenti-interventi: tavolo del bilancio idrico, istituzione di nuovi parchi (Parco Naturale Regionale dei Monti Lepini), gestione operativa dei siti della Rete Natura 2000, contratti di fiume e di foce, progetti integrati pilota sui nodi della rete ecologica.

Questi temi sono sviluppati nel presente volume da alcuni contributi. Claudio Alimonti pone in evidenza la complessità dei sistemi acquiferi della Bioregione e le condizioni di criticità in cui versano per la pressione a cui sono sottoposti, affermando la necessità di introdurre nuovi metodi di bilancio idrico. Sergio Zerunian sintetizza i caratteri dell'elevata diversità ambientale e quindi gli alti valori di biodiversità presenti nella Bioregione, constatando attraverso l'esame di specifici casi di studio, l'insufficiente livello effettivo di protezione e indicando specifiche azioni per superare questa condizione. Paolo Marzano, Giuseppe Iorio e Giuseppe Panetta, focalizzano l'attenzione sui geo-

rischi che riguardano la Bioregione ed illustrano l'importanza dal punto di vista ambientale del consolidamento del patrimonio edilizio ed infrastrutturale esistente, proponendo nuove tecnologie di intervento meno invasive e potenzialmente autosostenibili.

1B. AUMENTO DELLA RESILIENZA DELLA BIOREGIONE

Studiare i cambiamenti climatici e i fattori di rischio in genere, valutandone gli effetti sui sistemi ambientale, insediativo e socioeconomico e renderne consapevoli gli abitanti, approntando opportuni strumenti di interazione comunicativa anche in sinergia con la predisposizione degli adempimenti comunali della normativa della protezione civile. Definire le strutture resistenti bioregionali e le loro integrazioni.

Strumenti-interventi: studi sul cambiamento climatico e i fattori di rischio, mappa delle strutture resistenti della bioregione. Francesco Cioffi, Federico Conticello e Vincenzo Scotti nel loro contributo, in riferimento al territorio del Comune di Latina posto al centro della Bioregione, individuano le aree che in occasione degli eventi idrologici estremi sono risultate più vulnerabili a fenomeni di inondazione e propongono una riflessione sulla necessità di integrare le metodologie più avanzate di analisi e monitoraggio con interventi per aumentare la consapevolezza e la resilienza delle comunità locali.

2A. AMPLIAMENTO E MANTENIMENTO DELLE CAPACITÀ DI RISPARMIO E AUTOPRODUZIONE ENERGETICA DELLA BIOREGIONE

Aumentare l'efficienza energetica del patrimonio edilizio e la produzione locale di energie da fonti rinnovabili coerenti con il patrimonio territoriale e paesaggistico.

Strumenti-interventi: bilancio energetico della bioregione, progetti integrati con riqualificazione agricola e insediativa di dimensioni non impattanti per l'ambiente e il paesaggio, tecnologicamente appropriati a sviluppare la piccola e media imprenditorialità del territorio.

Il contributo di Alessandro Corsini, Sara Feudo, Fabrizio Bonacina, Chiara Alfiero ed Ennio Cima analizza il sistema idrico integrato riguardante la Bioregione come un sistema complesso, proponendo un metodo di modellazione ad agenti interagenti che mira al risparmio della risorsa idrica ma anche a ridurre i costi energetici che, nel processo di distribuzione di quest'ultima, risultano quelli maggiori da affrontare.

Andrea Cappelli, Silvano Simoni, Marco Centra nel loro scritto pongono in evidenza come gli effluenti zootecnici possono essere considerati una risorsa naturale utilizzabile per la produzione di energia rinnovabile. Attraverso il confronto di diversi scenari applicati ad un caso di studio nel territorio di Pontinia, riflettono sulla sostenibilità ambientale ed economica mettendone in luce pro-

blematiche e possibili azioni di miglioramento.

2B. SVILUPPO DI SISTEMI ECONOMICI A BASE LOCALE CHE VALORIZZINO IL PATRIMONIO MATERIALE E IMMATERIALE DELLA BIOREGIONE

Passare da distretti produttivi tematici a distretti multisettoriali integrati che leghino la qualità del territorio alla qualità degli insediamenti produttivi (integrazione di attività agricole, artigianali, industriali, turistiche, commerciali, terziarie avanzate). Fare perno sull'agricoltura multifunzionale per la riorganizzazione delle attività artigianali, commerciali e terziarie e favorire la concentrazione delle attività industriali in Aree Produttive Ecologicamente Attrezzate in cui incentivare forme di sviluppo locale legate alla *green economy* e all'economia circolare (con particolare riferimento al problema dei rifiuti) attraverso la presenza di servizi alle imprese, attività collaborative di ricerca e sviluppo in connessione organica con il mondo universitario, 'fablab' aperti agli abitanti del territorio. Dal lato della domanda pianificare sistemi territoriali del cibo che leghino le aree urbane ai prodotti agricoli del territorio.

Strumenti-interventi: parchi agricoli multifunzionali, APEA (Aree Produttive Ecologicamente Attrezzate), 'fablab' integrati in aree attrezzate per il riciclaggio dei rifiuti, piani del cibo.

Giuseppe Bonifazi, Riccardo Gasbarrone, Roberta Palmieri e Silvia Serranti in due distinti contributi centrati sul recupero e riciclo delle materie prime seconde, delineano i benefici derivanti dall' applicazione di tecnologie innovative di tipo iperspettrale ai processi di separazione dei RAEE (rifiuti da apparecchiature elettriche ed elettroniche) e allo sviluppo di processi in grado di operare il riciclo degli scarti da attività di costruzione e demolizione (*urban mining*). L'uso di queste tecnologie appare promettente non solo in termini di efficienza e abbattimento dei costi, ma anche nel consentire in prospettiva nuove pratiche di economia circolare alla scala locale e in autoproduzione.

3A. REDISTRIBUZIONE DELLE CENTRALITÀ URBANE E COSTRUZIONE DI UN SISTEMA INSEDIATIVO POLICENTRICO, CON CENTRI FUNZIONALMENTE E MORFOLOGICAMENTE DIFFERENZIATI E IN RELAZIONE DI COMPLEMENTARITÀ TRA LORO, SUPPORTATI DALLE RETI DI TRASPORTO COLLETTIVO

Riorganizzare i servizi territoriali del *welfare*, recuperare i centri storici (realizzare 'città di città'), definire porte di ingresso urbane (soluzioni di continuità identitarie) e progettare una rete di nuovi borghi della città diffusa (realizzare 'città di villaggi') con lo specifico compito di azzerare il consumo di suolo e costituire nuovi luoghi identitari, multiculturali e multietnici.

Strumenti-interventi: linee fondamentali di un 'Piano sociale bioregionale', ambiti con meccanismi perequativi, *social housing*, modelli abitativi basati sull'economia della condivisione, coprogettazione degli insediamenti, reti della

mobilità collettiva e della mobilità dolce.

Maria Martone nel suo contributo si sofferma sui centri urbani della Bioregione collocati sui Monti Lepini, documentandone i caratteri insediativi e il processo di degrado in atto pur a fronte della presenza in essi di tesori di arte, di architettura, di archeologia di notevole interesse. La maggiore conoscenza del patrimonio culturale che essi esprimono, anche da parte dei loro stessi abitanti, si individua come strategia fondamentale per sviluppare operazioni di salvaguardia e di valorizzazione che considerino le risorse esistenti come 'bene comune ed opera d'arte collettiva'.

3B. RIEQUILIBRIO DEL RAPPORTO TRA 'CORE' DELL'AREA METROPOLITANA E BIOREGIONE

Riqualificare, attraverso politiche della mobilità integrate alla pianificazione territoriale (*Transit Oriented Development*), i corridoi infrastrutturali e i nodi di scambio con cui contrastare le dinamiche di progressiva trasformazione in periferia romana del territorio pontino.

Strumenti-interventi: nuove tecnologie di trasporto (es. Tram treno), cattura del valore e nuove forme di partenariato pubblico privato.

Lo scritto di Valerio Mazzeschi si occupa della riqualificazione degli insediamenti diffusi della Bioregione, facendo perno su linee su ferro dotate di Tram treno e loro stazioni, viste come nodi principali da cui far partire la riqualificazione del territorio. In questa strategia di intervento emerge la necessità di studiare i meccanismi di cattura del valore per contribuire al finanziamento delle infrastrutture, i possibili fenomeni di gentrificazione correlati alla riqualificazione degli insediamenti, i problemi di partecipazione delle comunità locali alla costruzione della stessa strategia.

3C. PRODUZIONE SOCIALE DEL PAESAGGIO

Sviluppare insieme alla tutela dei paesaggi 'eccellenti' attraverso le aree protette e i parchi agricoli (che prevedono anche la tutela delle aree archeologiche e dei beni storico culturali e identitari), quella dei paesaggi 'percepiti' dagli abitanti, identificati nei processi di interazione partecipativa e valorizzati dalle sistemazioni paesaggistiche degli spazi verdi e dalle reti della mobilità dolce. Strumenti-interventi: processi e strumenti di interazione partecipativa, reti degli spazi verdi per parchi, orti urbani, margini urbani e reti della mobilità dolce.

Elementi fondamentali di sostegno all'applicazione delle linee di intervento e in genere alla costruzione di scenari di futuro e progetti di territorio sono lo sviluppo:

- *DI UN ORIENTAMENTO ALL'AUTOGOVERNO PER L'AUTOSOSTENIBILITÀ DELLA BIOREGIONE*

sollecitando i governi locali affinché diventino promotori della società locale

costruendo patti fra gli attori, valorizzando l'autoimprenditorialità diffusa sia in ambito urbano che rurale e incentivando la formazione di istituti non identificabili in base alla dicotomia stato-mercato in grado di gestire efficacemente beni comuni e condivisibili;

- *DI UNA CONOSCENZA INTERATTIVA*

costruendo Sistemi Informativi Territoriali aperti e interattivi come strumenti fondamentali per supportare i processi partecipativi, usando *software open source*, gli *open data*, i *webGIS friendly* e bidirezionali, metodiche valutative partecipate su progetti ed interventi sul territorio.

Riferimenti bibliografici

AA.VV. (1980), Turismo scolastico 8: al di là della preistoria, Regione Lazio – Ente provinciale per il turismo Latina – Amministrazione provinciale Latina.

BEVILACQUA P. (2005), "Sulla impopolarità della storia del territorio in Italia", in Bevilacqua P., Tino P. (a cura di) *Natura e società. Studi in memoria di Augusto Placanica*, Donzelli, Roma, pp 7-19.

BIBLIOTECA IDRAULICA ITALIANA (2017), *Le paludi pontine*, <http://idraulica.beic.it/luoghi/le-paludi-pontine/> (ultima visita: giugno 2017).

BOCCHI S. (2013), "Ritorno alla terra fertile", *Scienze del Territorio* n. 1, pp. 165-172.

CANALE G., CERIANI M. (2013), "Contadini per scelta. Esperienze e racconti di nuova agricoltura", in *Scienze del Territorio*, n.1, pp. 195-200.

CANCELLIERI M., DE ROSSI G.M. (1990), "L'organizzazione antica del territorio di Ninfa", Fondazione Camillo Caetani, *Ninfa una città, un giardino*, Atti del Colloquio della Fondazione Camillo Caetani, Roma, Sermoneta, Ninfa ottobre 1988, L'Erma di Bretschneider, Roma, pp 33-39.

CACIORGNA M.T. (1990), "Ninfa prima dei Caetani (secoli XII e XIII)", Fondazione Camillo Caetani, *Ninfa una città, un giardino,* Atti del Colloquio della Fondazione Camillo Caetani, Roma, Sermoneta, Ninfa ottobre 1988, L'Erma di Bretschneider, Roma, pp 39-63.

COARELLI F. (1990), "Roma, i Volsci e il Lazio antico", in *Crise et transformation des sociétés archaïques de l'Italie antique au Ve siècle av. JC.*, Actes de la table ronde de Rome 19-21 novembre 1987, École Française de Rome, Rome, pp. 135-154.

CORBELLINI G., CAPOCCI M. (2017), *La malaria e le ricerche italiane tra ottocento e novecento*, Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, <http://media.accademiaxl.it/pubblicazioni/malaria/indice.htm> (ultima visita: giugno 2017).

DANSERO E., PETTENATI G., TOLDO A. (2014), "Urban Food Planning, le politiche alimentari" in *Urbanistica Informazioni* 255, pp 46-47.

DELLA CORTE R., SERAFINO R. (2017), *La Ferrovia Roma-Velletri-Priverno-Terracina*, <http://www.lestradeferrate.it/> (ultima visita: giugno 2017).

FOLCHI A. (1992), *Littoria. Storia di una provincia*, Regione Lazio, Roma.

FOLCHI A. (1994), *L'Agro pontino 1900-1934*, Regione Lazio, Roma.

FOLCHI A. (2000a), "L'Agro Pontino nel 1700" in *Agro Pontino. Storia di un territorio*, Consorzio di Bonifica dell'Agro Pontino, Graficart snc, Formia, pp 13-32.

FOLCHI A. (2000b), "Il Bonificamento delle Paludi Pontine" in *Agro Pontino. Storia di un territorio*, Consorzio di Bonifica dell'Agro Pontino, Graficart snc, Formia, pp 33-55.
FOLCHI A. (2000c) "I campi di Piscinara"in *Agro Pontino. Storia di un territorio*, Consorzio di Bonifica dell'Agro Pontino, Graficart snc, Formia, pp 57-74.
FOLCHI A. (2000d) "Poderi e città nuove"in *Agro Pontino. Storia di un territorio*, Consorzio di Bonifica dell'Agro Pontino, Graficart snc, Formia, pp 75-90.
GIA (2012), "Dalle Pomptinae Paludes all'Ager Pomptinus. Archeologia e storia della pianura pontina", Le ricerche archeologiche del Groningen Institute of Archaeology (GIA), http://minorcenters.gia-mediterranean.nl/.
MACCHI S., RICCI L. (2016), "Climate Change Adaptation Through Urban Planning: a Proposed Approach for Dar Es Salaam Tanzania", in *Planning to Cope with Tropical and Subtropical Climate Change*, Tiepolo M., Ponte E., Cristofori E., (Eds.), De Gruyter Open Ltd, Warsaw/Berlin, pp 267-289.
MAGNAGHI A. (2001), "Una metodologia analitica per la progettazione identitaria del territorio", in *Rappresentare i luoghi. Metodi e tecniche*, Magnaghi A. (a cura di), Alinea Editrice, Firenze, pp 13-51.
MAGNAGHI A. (2011), "Bioregione urbana e sostenibilità: applicazioni progettuali alla Toscana centrale" Comunicazione ai Corsi di formazione alla efficienza energetica e alla sostenibilità Ordine degli Architetti di Prato Inbar Prato 2011 http://www.architettiprato.it/joomla/soprane/lezioni/001c_magnaghi.pdf. (ultima visita: luglio 2017)
MAGNAGHI A. (2014a), "Presentazione", in Magnaghi A. (a cura di), *La regola e il progetto. Un approccio bioregionalista alla pianificazione territoriale*, Firenze University Press, http:// www.fupress.com/, pp. VII-XVII.
MAGNAGHI A. (2014b), "Il progetto della bioregione urbana. Regole statutarie e elementi costruttivi" in *La regola e il progetto. Un approccio bioregionalista alla pianificazione territoriale*, (a cura di) Magnaghi A., Firenze University Press, http:// www.fupress.com/, pp 3-42.
MANGULLO S. (2015), *Dal fascio allo scudo crociato. Cassa per il mezzogiorno, politica e lotte sociali nell'Agro Pontino (1944-1961)*, Franco Angeli, Milano.
MARTONE M. (2012), Segni e disegni dell'Agro Pontino. Architettura, città, territorio, Aracne, Roma.
MIBACT (2017), *Via Appia Antica*, Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo, Soprintendenza Speciale per i Beni Archeologici di Roma, Sito ufficiale di Via Appia Antica, < http://www.viaappiaantica.com/storia/regina-viarum/> (ultima visita: giugno 2017).
MIGLIORATI L. (1996), "La storia antica", in *Atlante storico-politico del Lazio*, Editori Laterza, Roma-Bari, pp. 3-25.
MINISTERO DI AGRICOLTURA INDUSTRIA E COMMERCIO (1911), *Catasto Agrario del Regno d'Italia*, Vol.VI, fascicolo 30 Compartimento del Lazio, Tipografia Nazionale di G. Bertero e C., Roma.
NICOLAJ N.M. (1800), *Dé Bonificamenti delle Terre Pontine*, Stamperia Pagliarini, Roma.
ORSOLINI CENCELLI V. (1935), "La bonifica e la trasformazione fondiaria dell'Agro pontino" in *La bonifica delle paludi pontine*, Istituto di Studi Romani, Casa Editrice Leonardo da Vinci, Roma, pp 231-257.
PAZZAGLI R., BIAGIOLI G., BEVILACQUA P., RUSSO S. (2015), "La storia alla prova del territorio", (Bozza non corretta) Materiali del seminario "La storia nelle scienze del territorio", Firenze, 13 marzo 2015 http://www.societadeiterritorialisti.it/2014/09/02/storia-del-territorio-e-archeologia-globale/.

SAVIANO G., TOMMASI P. (2010), "Aspetti geologici e valutazione delle condizioni di stabilità di fronti naturali e di cava del promontorio del Circeo", in *Analisi territoriali, linee guida e proposte progettuali finalizzate alla stesura del Piano del Parco e del Regolamento,* Elaborati della convenzione tra l'Ente Parco Nazionale del Circeo e l'Università degli Studi di Roma La Sapienza – Centro di Servizio della Sede Pontina.

SENNIS A. (1996), "Un territorio da ricomporre: il Lazio tra i secoli IV e XIV", in *Atlante storico-politico del Lazio*, Editori Laterza, Roma-Bari, pp 27-62.

SCOTT CATO M. (2013), *The Bioregional Economy. Land, liberty and the pursuit of happiness*, Routledge, London and New York.

SERPIERI A. (1938), Bonifica*, Enciclopedia Italiana, I Appendice (1938)* http://www.treccani.it/enciclopedia/ricerca/bonifica/.

SOJA E.W., (2015), "Accentuate the Regional", *International Journal of Urban and Regional Research* n. 39 (2), pp. 372-381.

TODD N.J., TODD J. (1989), *Progettare secondo natura*, Eleuthera, Milano.

TOMMASI G. (1935), "I terreni dell'Agro pontino e le loro immediate possibilità" in *La bonifica delle paludi pontine*, Istituto di Studi Romani, Casa Editrice Leonardo da Vinci, Roma, pp 173-199.

UVAL (2014), *Strategia Nazionale per le aree interne: definizione, obiettivi, strumenti e governance*, Unità di Valutazione degli Investimenti Pubblici, Collana Materiali UVAL n.31, http://www.dps.gov.it/it/pubblicazioni_dps/materiali_uval

I SEZIONE: STUDI SU AMBIENTE E SISTEMA INSEDIATIVO

La gestione della risorsa idrica sotterranea quale strategia di sviluppo sostenibile

Claudio Alimonti

Abstract

THE MANAGEMENT OF THE UNDERGROUND WATER RESOURCE AS A SUSTAINABLE DEVELOPMENT STRATEGY. In the past and even today the management has been considered limited to the anthropic component or rather to be more precise human. This approach maintains a linear dimension and needs to be expanded. In fact it is only a small part of the water system. In the Pontina bioregion the analysis of the human interventions to snatch a territory to its natural destiny are the starting point for outlining and highlighting how the sustainability of development requires a management plan. A management plan which must be integrated in the hydrological cycle and that requires for a circular economy in order to guarantee the prospects for sustainability.

KEY WORDS: sustainability, water resource, groundwater, development.

1. Risorsa idrica, società, cambiamenti climatici

Dallo sbiancamento dei coralli alla siccità, dallo scioglimento dei ghiacciai all'erosione costiera, i cambiamenti climatici costituiscono una delle maggiori sfide che deve essere affrontata. Al di là delle azioni volte alla mitigazione delle cause, ciò comporta un'azione che deve consentire di aumentare la resilienza dei sistemi antropici e naturali.

Da un paio di decenni si assiste ad una lenta alterazione, in senso negativo, dei cicli idrologici, e si vanno sviluppando autorevoli ipotesi sulla riduzione delle disponibilità idriche, rendendo ancora più prezioso il bene acqua. Questo ci dovrebbe spingere a ricercare la risorsa idrica tra la realtà e l'apparenza del suo essere. Lo strumento principe è il bilancio idrico che andrebbe applicato ad ogni settore, così come anche nella propria abitazione. Solo conoscendo le quantità necessarie (fabbisogni) e le quantità disponibili (riserve) è possibile perseguire degli obiettivi di gestione.

Nel passato ed ancor oggi quando si pensa alla gestione si vede solo la

componente antropica senza tener conto delle altre componenti ambientali, in riferimento a ciò che l'uomo ha fatto per poter produrre e distribuire la risorsa idrica. Ma la gestione in questi termini mantiene una dimensione lineare e va ampliata. Infatti essa costituisce solo una piccola parte del sistema "acqua". Allargando il campo visivo si giunge a coinvolgere, prima, le attività che utilizzano la risorsa e, poi, il sistema naturale che la raccoglie, la ospita e di cui si nutre. Siamo passati ad una visione circolare che conosciamo bene e chiamiamo 'ciclo dell'acqua'. Il ciclo è molto complesso e le attività antropiche devono tendere ad integrarsi al suo interno riuscendo così a gestire gli aspetti che consentono di aumentare la resilienza e l'adattività dei sistemi umani. Su questi elementi nascono le azioni di gestione della risorsa idrica sotterranea che nella Bioregione Pontina è storicamente protagonista. L'analisi degli interventi di bonifica e regolamentazione delle acque, operati dall'uomo per strappare un territorio al suo destino naturale, sono il punto di partenza per delineare e mettere in evidenza come la sostenibilità dello sviluppo in tale regione necessita di un piano di gestione. Un piano di gestione che dovrà essere integrato nel ciclo idrologico e che chiede un'economia circolare per poter garantire le prospettive di sostenibilità.

Se guardiamo la Terra, essa è un sistema chiuso dove ogni elemento presente su di esse è in una quantità definita, anzi, per meglio dire, finita. La risorsa idrica è anch'essa finita ma inserita nel processo circolare del ciclo dell'acqua. Quest'ultimo è strettamente legato ai processi meteoclimatici ed all'impatto antropico e lo testimonia la sua esauribilità e di conseguenza rinnovabilità. È la percezione che abbiamo della risorsa che ci conduce a discernere tra carenza e abbondanza. Questo aspetto percettivo è fortemente indicativo di come poi sia l'uomo a guidare i processi di approvvigionamento e molte volte a prendere decisioni unicamente indirizzate al benessere civile/sociale.

Non basta. È necessario guardare al futuro essendo radicati nel presente. Le relazioni tra le azioni antropiche ed il ciclo dell'acqua sono complesse ma noi ne siamo la radice. Sono sempre più frequenti le conferenze su acqua e clima nelle quali si fanno considerazioni in merito agli effetti indotti dal comportamento dell'uomo sia per l'alterazione dell'ambiente che per le politiche energetiche (Fig. 1). È certo che per poter affrontare ciò che la percezione della risorsa idrica produce in noi è necessario passare attraverso dei processi di gestione sia della risorsa ma anche di quei fattori che influenzano il clima. Per comprendere le dinamiche che modificano le relazioni tra gli elementi che sono alla base dei processi di gestione è bene entrare nella definizione dei singoli termini.

Partiamo dalla definizione del termine 'gestione'. La definizione fornita dal

vocabolario on line della Treccani (2017) è la seguente:

> *gestióne s. f. [dal lat. gestio -onis, der. di gerĕre «condurre, amministrare», part. pass. gestus].*

Come si evince, il termine indica la conduzione o l'amministrazione di qualcosa. È chiaro come l'amministrazione di una risorsa sia quanto meno un aspetto fondamentale che richiede la definizione di strumenti. In particolare, le domande che sorgono sono: 'Quali strategie è necessario adottare per amministrare una risorsa? Cosa investono? A chi si rivolgono?' E qui diventa necessario entrare nella definizione di risorsa stessa.

Fig. 1 - Eventi nel 2016 sull'interazione tra risorsa idrica e cambiamenti climatici.

Ricorrendo nuovamente al vocabolario on line della Treccani (2017) la risposta si trova nella definizione del termine stesso:

> *risórsa s. f. [dal fr. ressource, der. del lat. resurgĕre «risorgere»]. – Qualsiasi fonte o mezzo che valga a fornire aiuto, soccorso, appoggio, sostegno, spec. in situazioni di necessità: r. economiche, intellettuali; risorse dell'ingegno, della fantasia, dell'immaginazione, dell'esperienza, del mestiere; r. scarse, abbondanti, improvvise, inaspettate. In economia, r. naturali, le risorse fornite dalla natura, e r. non naturali, quelle che sono frutto del lavoro umano o dell'intervento dell'uomo sulle risorse naturali; particolare rilievo stanno assumendo i problemi legati alla disponibilità e allo sfruttamento controllato delle principali risorse naturali: r. alimentari, r. energetiche, r. idriche, r. minerarie, r. trofiche.*

Molto interessante è la presenza nella definizione del riferimento alla disponibilità ed allo sfruttamento di una risorsa. Siamo arrivati a confrontarci con il

termine che definisce il rapporto tra uso e disponibilità di una risorsa: la sostenibilità. Gli elementi di base che guidano la sostenibilità sono tre: efficienza economica, sostenibilità ambientale ed equità sociale. Per implementare un approccio di gestione integrata sono necessarie le seguenti azioni chiave:

1. Protezione dell'ambiente - comprende politica, legislazione e regolamentazione, struttura di finanziamento e incentivo.
2. Ruoli istituzionali - rapporto tra bacino acquifero e fluviale, relazione centrale-locale nell'amministrazione, definire l'equilibrio nel rapporto pubblico-privato.
3. Strumenti di gestione - tra cui la valutazione delle risorse, la gestione di informazioni e l'allocazione delle risorse e gli strumenti di tutela.

Partendo dagli elementi base della sostenibilità possiamo affermare che gli approcci pratici alla gestione delle acque sotterranee sono definiti come quelli che mirano a:

- mantenere un ragionevole bilancio tra costi e benefici delle attività ed interventi di gestione;
- prendere in considerazione la possibilità di degradazione del sistema idrogeologico ed i legittimi interessi degli utilizzatori dell'acqua, compresi gli ecosistemi e quelli che dipendono dal flusso di base;
- impostare i possibili interventi di gestione nel contesto di una normale evoluzione dello sviluppo territoriale.

È evidente come il processo di gestione se da una parte richiede la definizione dei fabbisogni dall'altra richieda una valutazione del bilancio idrico (Fig. 2). Il rapporto tra il volume estraibile o estratto da una falda acquifera e il volume totale di ricarica dell'acqua rappresenta l'indice adottato per valutare la pressione antropica sulla falda acquifera. Con riferimento al volume estraibile, tre diversi indicatori possono essere definiti con un crescente approccio alla sostenibilità:

- il *Safe yield*, in cui il prelievo è limitato dal volume di ricarica delle falde;
- il *Sustainable yield*, dove il prelievo è limitato dai sistemi di raccolta realizzabili;
- il *Sustainable groundwater development*, dove il prelievo è limitato dagli effetti idrologici, ambientali e socio-economici indotti sul sistema.

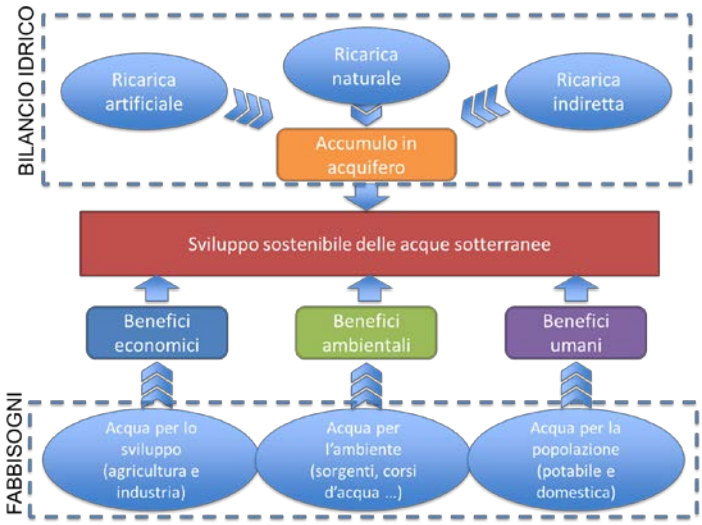

Fig. 2 - Sviluppo sostenibile delle acque sotterranee.

Definito il concetto di sostenibilità e selezionato l'indicatore di pressione antropica, deve essere valutata la compatibilità tra gli usi dell'acqua e quindi la gestione delle acque sotterranee potrà essere pianificata ed ottimizzata. Resta aperto solo un aspetto molto importante che nel passato è stato sempre trascurato: il processo di gestione deve essere dinamico al fine di rendere il sistema di approvvigionamento resiliente a tutte le possibili variazioni sul territorio.

2. Aree di studio nella Bioregione Pontina

La Bioregione Pontina include una serie di sistemi acquiferi molto particolari e di elevato interesse per lo studio dell'interazione con l'uomo. Nella bioregione sono state individuate due aree di particolare interesse che sono state oggetto di approfondimenti (Fig. 3). La prima area riguarda i Monti Lepini che insieme ai Monti Aurunci constituiscono la zona montuosa della bioregione. Entrambi i gruppi montuosi sono sede di falde acquifere importanti che sono la ragione della presenza delle zone acquitrinose nella pianura.

In contrapposizione, la seconda area è costituita dalla zona denominata 'Duna Antica' che ospita un acquifero con la caratteristica di essere isolato e di insistere in parte sull'area del Parco Nazionale del Circeo in un ambito quasi pianeggiante. Un acquifero che si presenta in comunicazione con il mare ed è soggetto ad intrusioni saline.

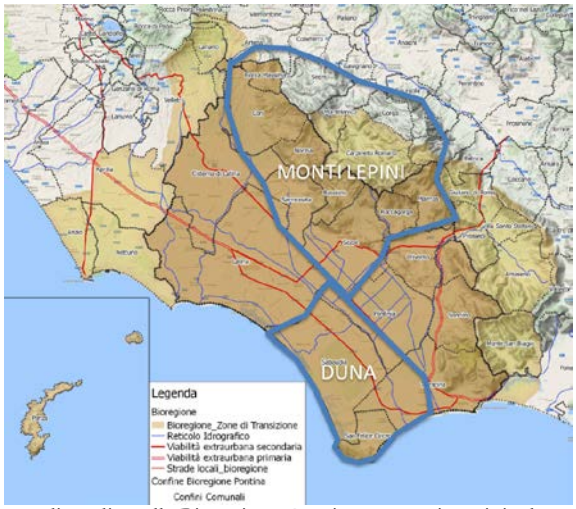

Fig. 3 - Le aree di studio nella Bioregione Pontina: I Monti Lepini e la Duna Antica.

3. I Monti Lepini

L'area di studio è stata oggetto di innumerevoli studi nel passato che hanno riguardato l'idrogeologia della dorsale lepina e della piana e che hanno indagato anche gli scambi di circolazione con le idrostrutture limitrofe (quella vulcanica dei Colli Albani e quella alluvionale della Valle Latina). Tale interessamento è legato anche al fatto che questa area di studio costituisce uno degli acquiferi carsici più importanti del Lazio e funge da fonte di approvvigionamento idrico per molti comuni della Provincia di Latina, di Roma e di Frosinone.

Sulla base degli studi svolti dal gruppo di Ingegneria (coordinato dall'autore di questo articolo) in occasione del progetto "Tutela dei Monti Lepini", finanziato dalla Regione Lazio[1], è stato redatto un bilancio idrico di tipo 'distribuito', ovvero effettuato sul dominio discretizzato in celle, che ha consentito nel periodo 2005 - 2010 di effettuare una valutazione dello stato del sistema acquifero dei Monti Lepini. Il risultato principale consiste nella determinazione di una condizione di sostanziale equilibrio tra volumi d'acqua di ricarica e di prelievo. Un aspetto però molto importante è il deflusso di base di questo sistema che rappresenta il 77% del volume complessivo in uscita. Pertanto le variazioni di ricarica producono effetti quasi immediati sulle portate

[1] Un progetto di ricerca idrogeologica sulla dorsale dei Monti Lepini a cui hanno partecipato l'Università di Roma Tre (Dipartimento Scienze Geologiche) e l'Università La Sapienza con i dipartimenti di Scienze della Terra e ICMA.

sorgive con implicazioni ambientali e sociali non trascurabili. Per questo motivo nel progetto, lo stesso gruppo di lavoro ha messo a punto dei modelli di gestione della risorsa sia in termini di concorrenzialità degli usi sia di accesso alla risorsa territorialmente distribuita.

3.1 Modello decisionale multi-criterio sull'uso della risorsa idrica

Le situazioni decisionali della risorsa idrica sono caratterizzate spesso da tantissime alternative, conseguenze incerte, interazioni complesse e partecipazione di molteplici *stakeholder* con interessi contrastanti. Nel passato, le soluzioni ai problemi decisionali della risorsa idrica sono state basate sull'obiettivo fondamentale di massimizzare il rapporto tra vantaggi e costi facendo uso dell'approccio dell'analisi costi benefici (BCA: *Benefit Cost Analysis*). L'analisi di decisione multi-obiettivo (MCDA: *Multi-Criteria Decision Analysis*) è un metodo alternativo utilizzato ampiamente, poiché facilita la partecipazione degli *stakeholder* alla decisione. Il processo decisionale di collaborazione non richiede l'assegnazione dei valori monetari ai criteri ambientali o sociali e permette di considerare i criteri multipli in unità incommensurabili (cioè combinazione dei criteri quantitativi e qualitativi).

Gli usi dell'acqua, che determinano la sua richiesta e quindi i prelievi, sono stati ripartiti nelle seguenti macro-categorie:

- uso civile,
- uso industriale,
- uso agricolo.

Si è considerato che le singole utenze possano utilizzare l'acqua approvvigionata con opere acquedottistiche (pozzi, sorgenti, ecc.), con pozzi privati, con acque superficiali e con acqua trattata, derivante da impianti di depurazione. L'uso delle fonti di approvvigionamento è considerato anche multiplo e contemporaneo (relazione *many-to-many*).

Gli obiettivi e i vincoli sono funzione dei diversi usi della risorsa idrica e si basano su risultati ottenuti nel corso dello studio dei fabbisogni e del bilancio idrico distribuito sul sistema lepino (AA.VV., 2011).

Riassumendo, dalla figura 4 emerge che il comparto industriale, attraverso un impiego maggiore di acqua proveniente dai corsi di superficie (Scenario n. 4), consente di avere una maggiore disponibilità di acqua di falda per gli altri comparti, mentre il settore civile può sviluppare una politica di riduzione delle perdite di rete graduale che dall'attuale tasso del 60% scenda via via prima al 35% (Scenario n. 4) e poi al 20% (Scenario n. 3) comportando una riduzione dei prelievi di 22 Mm^3/anno. In agricoltura il deficit colturale viene coperto per la parte pianeggiante a nord prevalentemente ricorrendo ai pozzi con circa 530

l/s (Scenario n. 4) che potrebbero anche aumentare nell'ipotesi di un cambio colturale a favore di specie vegetali più idroesigenti oppure di un anno siccitoso che richiede circa 850 l/s (Scenario n. 2). Il risparmio di risorsa in agricoltura si attua attraverso l'impiego di tecniche irrigue più efficienti e il ricorso ad un maggiore volume di acqua proveniente dagli impianti di depurazione civile (dai 200 l/s dello Scenario n. 4 ai 440 l/s dello Scenario n. 3).

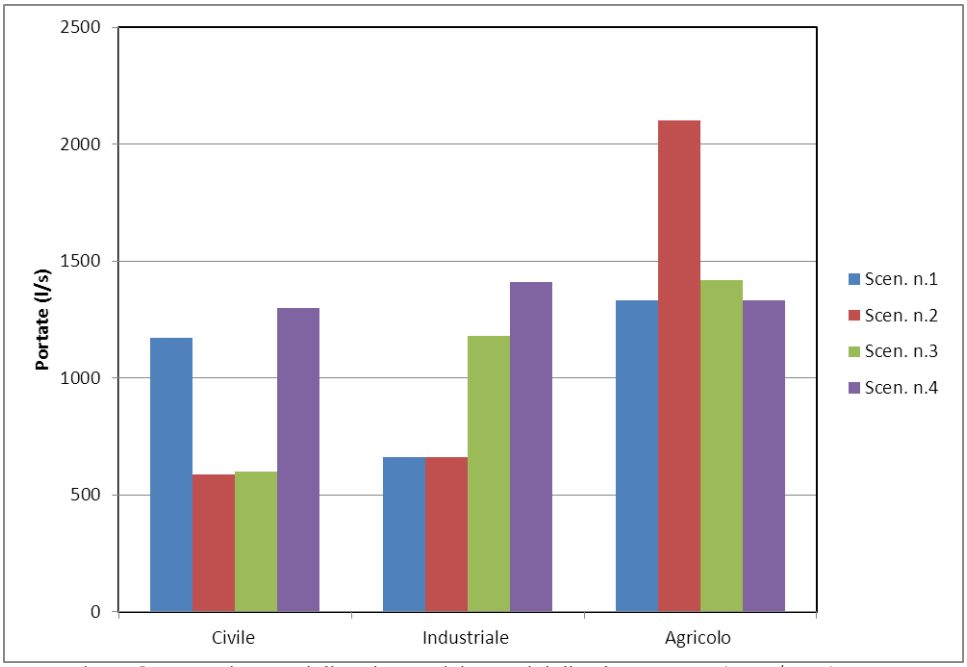

Fig. 4: Comparazione tra i diversi scenari, in termini di volume annuo (Mm^3/anno). Caso con priorità Civile.

Il prelievo sotterraneo totale passa dagli attuali 2115 l/s (Scenario n. 1) a complessivi 1550 l/s, per cui rimangono immagazzinati nell'idrostruttura lepina oltre 650 l/s. Sicuramente una parte di quest'acqua andrà ad alimentare una portata alle sorgenti maggiore e comunque andrà a beneficio del sistema ambientale. Inoltre, in caso di anno siccitoso tale quantità costituirà una notevole riserva a cui poter attingere.

In definitiva, l'ipotesi di gestione qui proposta prevede obiettivi intermedi più facilmente raggiungibili che tutti insieme concorrono a raggiungere gli obiettivi globali di gestione razionale, risparmio e sviluppo locale.

3.2 Un modello di gestione territoriale

La gestione non può prevedere solo la valutazione dei volumi a disposizione

e la loro attribuzione agli usi ma deve prevedere anche una serie di regole per la gestione del territorio che esercita una pressione sull'acquifero. A tal fine è stato messo a punto un indicatore per fornire un'informazione distribuita al fine di valutare le zone con pressione antropica eccessiva e le zone dove è minore. Obiettivo ultimo è quello di fornire uno strumento per operare una regolamentazione territoriale dell'accesso alla risorsa idrica sotterranea.

Si è pensato di utilizzare un indicatore I che si ottiene dalla combinazione lineare di una serie di indici C_i e pesi λ_i:

$$I = \sum_{i=1}^{n} C_i \lambda_i$$

Sono stati individuati 11 indici corrispondenti a elementi e parametri che hanno un'influenza diretta sulla risorsa idrica. I criteri sono stati articolati in funzione della loro tipologia in: quantitativi, qualitativi e rispetto all'uso della risorsa. Alcuni criteri sono di tipo booleano ossia vero/falso, altri sono di tipo variabile con distribuzione secondo un sistema di classi. Ogni indice varia da 0 a 2 in forma discreta. Il valore massimo corrisponde al massimo impatto. Gli indici utilizzati sono: la presenza di un ente gestore della risorsa, la presenza della rete irrigua del Consorzio di Bonifica Pontina, la densità dei pozzi, le grandi concessioni a fini potabili, l'uso domestico tra pozzo e acquedotto, l'acqua potenzialmente traboccante, la drenanza dal carbonatico, la profondità del tetto dei carbonati, la miscelazione di origini diverse, il rapporto prelievo/ricarica e lo stress sul terrigeno. La scelta dei pesi nella combinazione lineare dei criteri può fornire risultati in funzione di quelli che sono i desideri degli *stakeholder*. Sono state effettuate due scelte dei pesi: una che rappresenta una visione degli *stakeholder* 'indifferente' rispetto ai criteri adottati, ed un'altra che dà maggiore importanza agli impatti 'diretti' sulla risorsa idrica sotterranea. A tal fine sono stati raddoppiati i pesi corrispondenti ai criteri riconducibili a tali impatti, mentre tutti gli altri pesi sono stati mantenuti invariati (Fig. 5).

3.3 Visione degli stakeholder *'indifferente'*

Il risultato, ottenuto dalla combinazione di 14 livelli, è stato espresso in percentuale sul valore massimo ottenibile pari a 28. Ricordando che il valore di impatto maggiore è stato riservato al valore 2 ed il minimo a 0 è evidente che i valori inferiori al 50% rappresentano un impatto sul sistema basso, mentre valori superiori impatto elevato. Il settore della parte pianeggiante a nord risulta avere un elevato impatto (60 - 70%) mentre i settori del massiccio denotano un impatto basso in media del 30 - 40%.

3.4 Maggiore importanza agli impatti 'diretti' sulla risorsa idrica sotterranea

Sulla base delle ipotesi assunte e precedentemente formulate si può concludere che il modello fornisca dei risultati che evidenzino lo stato di criticità delle aree della pianura rispetto alla situazione del massiccio lepino. Sono stati classificati come rilevanti ai fini di un impatto diretto sulla risorsa i criteri:

- densità dei pozzi a fini irrigui, domestici, industriali;
- approvvigionamento idrico da pozzo ed acquedotto;
- drenanza dal carbonatico;
- rapporto prelievo/ricarica, da pozzi e sorgenti;
- stress sul terrigeno.

Tali criteri sono stati maggiorati con un peso pari a 2, mentre gli altri sono rimasti invariati.

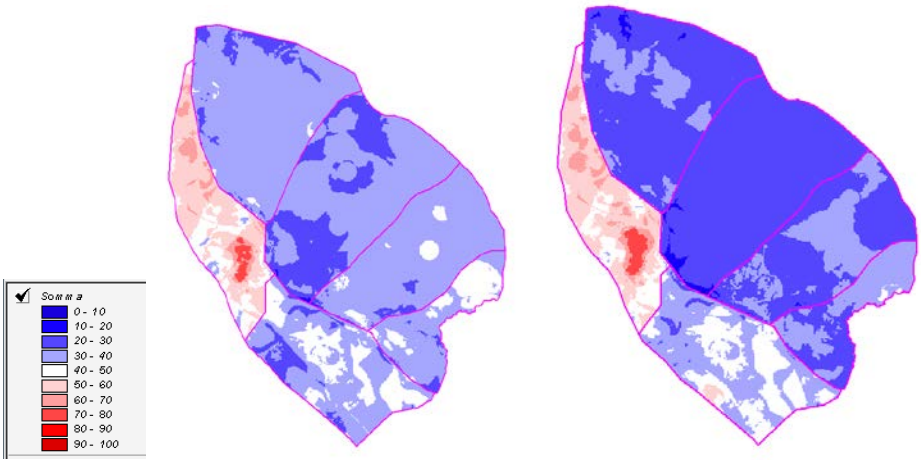

Fig. 5 - Indicatore della pressione antropica sulla risorsa idrica sotterranea.

Al fine di poter confrontare i due scenari il risultato è stato espresso ancora una volta in percentuale sul valore massimo ottenibile, nel caso in esame pari a 44 (8 x 4 + 6 x 2).

Come rappresentato nella cartografia, rispetto alla precedente configurazione il settore della parte pianeggiante a nord mantiene sostanzialmente i medesimi livelli di impatto (60-70%), mentre anche nella parte pianeggiante a sud cominciano a vedersi zone con impatti superiori al 50% (verso il limite sud occidentale), in un contesto che presenta complessivamente impatti mai inferiori al 40%.

I settori del massiccio, di contro, presentano impatti minori rispetto alla pre-

cedente configurazione, con valori ovunque inferiori al 40%, nel sottobacino di ricarica dei Laghi del Vescovo, e addirittura sempre inferiori al 30% nel sottobacino della sorgente Cavata.

4. La Duna Antica

L'area di studio denominata Duna Antica appartiene al 'Sistema Acquifero Costiero' (come definito dalla Provincia di Latina) della Piana Pontina. Il territorio corrisponde ad una pianura in gran parte alluvionale delimitata ad ovest e sud dal Mar Tirreno, a est dai primi rilievi appenninici dei Monti Lepini ed Ausoni, a nord dal Fiume Astura e dai primi rilievi dei Colli Albani.

Il comprensorio di studio è stato ristretto all'areale compreso tra gli assi fluviali di Rio Martino a nord-ovest e il Fiume Sisto a nord-est, mentre a sud è bagnato dal Mar Tirreno. Si tratta di una zona con una prevalente vocazione agricola in cui è presente una vasta area protetta corrispondente al Parco Nazionale del Circeo.

Lo studio di quest'area è stato portato avanti negli ultimi anni con la partecipazione degli studenti del Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria dell'Ambiente per lo Sviluppo Sostenibile attraverso lavori di gruppo. Finalità principale, oltre alla modellazione del sistema naturale, è stata la valutazione della pressione antropica su tale sistema.

Non tenendo conto della rispondenza del modello alla realtà sono stati valutati tre differenti scenari:

1. sistema in condizioni naturali, senza pressione antropica, considerando la ricarica sulla base dei dati dal 2003 al 2014;
2. sistema con pressione antropica sul territorio con particolare interesse al settore industriale e agricolo (ricarica 2003 - 2014);
3. sistema con condizioni meteoclimatiche antecedenti al periodo temporale oggetto di studio (1990/2000).

L'analisi effettuata sui dati ottenuti dalle simulazioni sono sintetizzati nella tabella che segue. Come si può constare confrontando i primi due scenari si desume che la pressione antropica esercitata attraverso i pozzi di prelievo ha un forte peso, poco più del 41% dei volumi in uscita dall'acquifero (Tab. 1).

Le conseguenze di questi prelievi consistono nella riduzione dei volumi uscenti verso la costa e nei deflussi nei corsi idrici superficiali. Le ricadute che si possono avere sono una maggiore esposizione al fenomeno di intrusione salina e una riduzione del deflusso di base dei corsi d'acqua. Entrambi i fenomeni sono stati osservati dagli studi condotti sul territorio.

Tab. 1 - Bilancio idrico del sistema acquifero della Duna Antica.

Volumi	*Fiumi*	*Ricarica*	*Carichi costanti*	*Dreni*	*Pozzi*
Scenario 1					
IN	40%	57%	3%	-	-
OUT	53%	-	33%	14%	-
Scenario 2					
IN	48%	50%	2%	-	-
OUT	33,5%	-	14,5%	10,5%	41,5%
Scenario 3					
IN	23%	75%	2%	-	-
OUT	36%	-	24%	11%	29%

Se si confronta la situazione del decennio precedente si constata che la riduzione degli apporti meteorici nel periodo 2003-2014 (Fig. 6 grafico a sinistra) ha prodotto una sensibile riduzione della ricarica dell'acquifero con un'amplificazione degli effetti già indicati. Pertanto emerge, seppur qualitativamente, che il sistema acquifero è particolarmente soggetto all'influenza dei cambiamenti climatici, diminuzione delle precipitazioni ed aumento delle temperature medie annuali (Fig. 6 grafico a destra), che hanno prodotto una riduzione di circa il 47% degli apporti di ricarica.

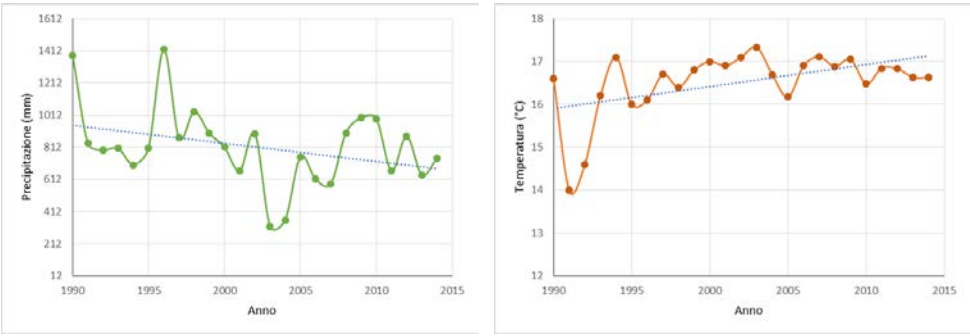

Fig. 6 – Grafico a sinistra andamento delle precipitazioni annuali nel periodo 1990-2015; grafico a destra andamento delle temperature medie annuali nel periodo 1990-2015.

5. Conclusioni

Le risorse idriche nel territorio della Bioregione Pontina hanno evidenziato la loro frammentazione nell'uso e la criticità indotta da una visione parzializzante. Questo risulta particolarmente evidente dai risultati ottenuti

negli studi sui Monti Lepini dove l'approvvigionamento idrico risulta esercitare una pressione non trascurabile sulla riserva idrica. A seguito dei caratteri specifici del sistema sorgivo associato, le portate che defluiscono variano in funzione delle precipitazioni con tempi di risposta molto brevi, dell'ordine di tre-quattro mesi. Tali tempi di risposta pongono in evidenza le criticità ambientali che ne derivano dal momento della riduzione del flusso idrico.

È pertanto fondamentale, in un territorio particolarmente critico, pianificare l'uso della risorsa con strumenti avanzati ed approcci innovativi che tengano presente non solo dell'evoluzione socio-economica ma anche e soprattutto del cambiamento climatico. Alcuni strumenti sono stati sviluppati e hanno messo in evidenza il loro ruolo. Ma tutto ciò non basta se non si realizzano quelle azioni che abbiamo evidenziato in precedenza. In particolare, le azioni che devono essere messe in campo riguardano i ruoli istituzionali. Si tratta di attivare dei tavoli di lavoro dove si possa confrontare l'interesse pubblico e quello privato cercando equilibri e non equilibrismi. Altro punto importante è avere un quadro chiaro dei rapporti tra amministrazioni centrali e locali. In un momento dove le provincie sembrano dover sparire viene a mancare l'attore locale che può mettere in atto gli strumenti di gestione sviluppati ed esercitare un ruolo di controllo nell'impiego della risorsa.

Riferimenti bibliografici

AA.VV. (2011), *Progetto Monti Lepini. Studi idrogeologici per la tutela e la gestione della risorsa idrica*, Gangemi editore, Roma.

VOCABOLARIO TRECCANI, http://www.treccani.it/vocabolario/(ultima visita: gennaio 2017).

Gli eventi alluvionali nel territorio del Comune di Latina: caratteristiche idrologiche, aree critiche e linee di intervento

Francesco Cioffi, Federico Conticello, Vincenzo Scotti

Abstract

THE RAINFALL EVENTS IN THE TERRITORY OF THE MUNICIPALITY OF LATINA: HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS, CRITICAL AREAS AND INTERVENTION LINES. Floods are natural occurring processes that are difficult to prevent but can be managed in order to reduce its social and economical impacts. Flooding is a threat to life and leads to damage of property. It is therefore very important that flooding risks be taken into account during any planning process. There are areas that are more susceptible to flooding than others.

With reference to the City of Latina, and using a range of sources - journalistic, satellite images, rain gauges- data is conducted a historical analysis of extreme flood events, the identification of the most vulnerable places to these phenomena, the associated rainfall, the conditions Atmospheric circulation which have favored the occurrence.

In particular from the analysis showed that:

1. The flooding in past years have affected the territory of the municipality of Latina were produced by meteorological events of higher intensity to 90 mm/g, corresponding to events exceeding the 99.9 percentile of rainy days;
2. The floods have affected areas of the critical area for morphology - areas particularly depresse- or crossed by channels whose outflow is restricted by special geometric configurations, such as junctions of two or more channels, the presence of curves, section restrictions.
3. Examination of the COSMO-SkyMed satellite images proved to be quite effective in characterizing the extent and location of flooded areas, although the availability of satellite images is limited by the frequency of image acquisition of the satellites themselves.

KEYWORDS: rainfall events, flooding risks, satellite images, change detection

(CD), atmospheric rivers.

1. Introduzione

L'Italia è tristemente nelle prime posizioni della classifica europea delle alluvioni: le cause prime in parte derivano dalle sue peculiari caratteristiche topografiche, geomorfologiche, climatiche e idrologiche, ma in parte da un uso improprio del territorio e del suolo che ha incrementato notevolmente il rischio associato a tali eventi idrologici. Come ogni anno in concomitanza della stagione autunnale/invernale, caratterizzata in Italia da eventi piovosi improvvisi e violenti, il Paese si trova ad affrontare situazioni di estrema criticità dei corsi d'acqua e del territorio (esondazioni in primis), che vengono affrontate nella maggior parte dei casi 'in emergenza'. Un ulteriore elemento di criticità è da associare ai possibili effetti dei cambiamenti climatici che si prevede possano determinare un'intensificazione e una maggiore frequenza degli eventi estremi idrologici (MERZ ET AL., 2014). In effetti, recentemente, si osservano piogge sempre più intense, fino ad alcune centinaia di millimetri nelle 24 ore (media annuale italiana nelle zone di pianura 800/1000 millimetri), che si alternano a periodi di prolungata siccità. La previsione dell'intensità e frequenza di tali eventi è pertanto di rilevante importanza al fine di ridurre il rischio associato ai fenomeni alluvionali.

Tali previsioni debbono essere sviluppate su differenti scale temporali al fine di dare risposta a tre esigenze: a) individuare con anticipo le condizioni atmosferiche che determinano l'insorgere degli eventi estremi, così da consentire una gestione più efficace dell'emergenza; b) identificare intensità e frequenza degli eventi al fine di pianificare gli interventi necessari ad aumentare la resilienza del territorio; c) individuare le possibili tendenze dell' intensità e frequenza degli eventi, per gli scenari di riscaldamento globale simulati dai modelli generali e regionali di circolazione atmosferica e oceanica. Per soddisfare tali esigenze è necessario mettere a punto strumenti metodologici e modelli che inglobino le innovazioni tecnologiche di recente resesi disponibili e le nuove conoscenze che emergono dalle discipline idrologiche e climatologiche, nonché dalla disponibilità di sofisticati strumenti di monitoraggio in tempo reale. In quest'ambito si inserisce il presente studio, che ha per oggetto gli eventi alluvionali nella Piana Pontina ed in particolare nel Comune di Latina, la loro possibilità di monitoraggio e previsione. Tale zona di bonifica per conformazione morfologica presenta un'alta vulnerabilità a tali fenomeni e pertanto costituisce un caso di studio di particolare interesse. Inoltre le caratteristiche

dei fenomeni alluvionali che colpiscono tale zona hanno caratteristiche tali da costituire un ulteriore sfida alla possibilità di costruire strumenti di previsione.

L' indagine deve prendere necessariamente le mosse dall'analisi degli eventi avvenuti in passato nella regione esaminata, dalle condizioni meteorologiche che li hanno prodotti, così come queste ultime possono essere ricostruite dalle misure a terra e remote, e dall'analisi retrospettiva disponibile. Tale analisi si articola fondamentalmente in tre distinte fasi: a) individuazione degli eventi alluvionali avvenuti in passato; b) valutazione delle potenzialità nell'uso delle immagini da satellite per caratterizzare tali eventi; c) analisi delle misure di pioggia da stazioni pluviometriche rilevate in periodi precedenti o contemporaneamente agli eventi individuati; d) analisi retrospettiva delle condizioni globali di circolazione atmosferica alla grande scala e del trasporto di umidità che hanno caratterizzato gli eventi.

Il lavoro ha quindi consentito di caratterizzare gli eventi alluvionali che colpiscono il territorio del Comune di Latina nello spazio e nel tempo, le cause generatrici e la potenzialità degli strumenti di *remote sensing* disponibili per la previsione di questi eventi idrologici estremi.

2. Individuazione degli eventi alluvionali avvenuti in passato

Come punto di partenza dello studio si sono voluti individuare i diversi eventi estremi idrologici di tipo alluvionale che hanno colpito in passato l'area oggetto d'esame, cioè il territorio del Comune di Latina. A tal fine sono state utilizzate le seguenti fonti:

- informazioni cronistiche derivanti da quotidiani locali reperibili nell'archivio della Biblioteca comunale Aldo Manuzio di Latina;
- informazioni cronistiche derivanti dalle varie fonti presenti sul web;
- bollettini di criticità idrogeologica ed idraulica nazionali in possesso della Protezione Civile di Latina, su cui si segnala la valutazione dei livelli di criticità idrogeologica e idraulica mediamente attesi fino alle ore 24.00 del giorno di emissione e nelle 24 ore del giorno seguente sulle zone di allerta in cui è suddiviso il territorio italiano;
- immagini derivanti dalla costellazione di satelliti COSMO-SkyMed.

Sulla base dell'analisi negli ultimi vent'anni delle fonti documentarie elencate in precedenza sono state individuate le date di sette eventi idrologici estremi: 19 ottobre 1991; 26 novembre 2003; 13 novembre 2008; 16 ed il 20 marzo 2011; 5 e 6 ottobre 2013; tra il 19 e 20 novembre 2013 ed il 7 novembre 2014.

3. Caratteristiche delle zone alluvionate relative agli eventi idrologici estremi identificati

L'analisi di dettaglio delle diverse fonti elencate nel paragrafo precedente ha consentito di individuare quelle aree che in occasione degli eventi idrologici estremi identificati e descritti in precedenza sono risultate più vulnerabili a fenomeni di inondazione. Tali zone sono le seguenti:

- Fosso della Femmina Morta situato in periferia, tra Borgo Bainsizza e Borgo Montello;
- Rotonda dell'Aviatore presente in Via Pier Luigi Nervi (LT);
- Quartiere Gionchetto (LT);
- Quartiere Pantanaccio (LT);
- Strada Dormigliosa (sottopasso Dormigliosa) (LT).

Il Fosso della Femmina Morta è situato nelle vicinanze della confluenza fra il Canale delle Acque Alte e l'Allacciante Astura che convoglia a mare le portate prodotte dalle precipitazioni piovose sui Monti Lepini e sui Colli Albani. Dall'analisi altimetrica effettuata mediante il software QGIS, emerge come la zona in oggetto sia caratterizzata da quote del terreno minori di quelle confinanti aventi un'altimetria pari a 25 m s.l.m. Sebbene conclusioni più certe richiedano un'analisi di maggiore dettaglio, si può avanzare l'ipotesi che la particolare vulnerabilità della zona ad eventi alluvionali sia in parte da attribuire alla sua conformazione a conca, in parte all' insufficienza della rete idrografica a convogliare le portate di piena, aggravata dalla presenza delle confluenze fra importanti aste della rete idrografica, che possono produrre rigurgiti a monte anche significativi.

Nel caso della Rotonda dell'Aviatore presente in Via Pier Luigi Nervi l'allagamento si è verificato nel pieno centro della città di Latina.

La particolare configurazione altimetrica della zona non sembra suggerire che l'allagamento sia dovuto ad un accumulo da scorrimento superficiale delle acque, quanto piuttosto ad un'insufficiente capacità della rete fognaria a fare fronte alle portate di pioggia generate da eventi estremi.

La zona del Gionchetto, un quartiere molto popolato presente a nord est del centro urbano del capoluogo pontino, si colloca a ridosso della confluenza di diversi fossi con il Canale Acque Alte, tra cui il Fosso del Gionco e il Fosso Gorgolicino. Originariamente l'area era adibita a vasca d'espansione idraulica del Canale delle Acque Medie essendo destinata ad un utilizzo prettamente agricolo. Negli ultimi anni il quartiere Gionchetto ha mutato completamente il suo aspetto originario. Oggi questo risulta essere una zona completamente urbanizzata, completa di tutti i servizi. Tale area comunque risulta delimitata quasi interamente da tre canali, due dei quali confluiscono immediatamente a

monte del quartiere, e pertanto l'area risulta particolarmente esposta al rischio di allagamenti conseguenti dall'esondazione dei tratti di aste fluviali limitrofi.

Un'altra zona estremamente sensibile a fenomeni di inondazione è quella del quartiere popolare Pantanaccio. Il nome deriva dall'antica presenza di un pantano nel luogo. L'area è situata alla periferia nord di Latina, alla destra di via Epitaffio, importante arteria di collegamento con la statale Appia. Come per il Gionchetto, negli ultimi anni questo quartiere ha conosciuto una sfrenata ed incontrollata espansione urbanistica su un'area un tempo agricola. Tale zona è compresa tra due corsi d'acqua: il Fosso del Gionco a nord ed il Canale delle Acque Medie a sud. È quindi evidente come tale area risulti essere molto sensibile ad eventuali allagamenti in corrispondenza di piene importanti, che potrebbero generare lo straripamento delle aste fluviali presenti.

Come ultima area sensibile che si riscontra spesso nelle varie documentazioni trattate, si fa riferimento al punto nevralgico del sottopasso Dormigliosa. La zona di interesse è sita in corrispondenza del confine tra il Comune di Latina e quello di Sermoneta, a nord rispetto al capoluogo pontino. La particolare conformazione morfologica del territorio di interesse, sommata alla grande presenza di aste fluviali che tendono a confluire in destra idraulica prima con il Canale delle Acque Alte e poi con il Canale delle Acque Medie, sono tali da spiegare, in corrispondenza di eventi meteorici intensi, gli straripamenti dei corsi d'acqua.

4. Analisi da satellite COSMO-SKYMED

L'identificazione delle zone del Comune di Latina più vulnerabili a fenomeni di inondazione ottenuta da fonti giornalistiche e web, secondo la metodologia descritta nel paragrafo precedente, non può considerarsi esaustiva, in quanto le informazioni deducibili possono risultare frammentarie e parziali. Pertanto si è ritenuto di integrare l'indagine del paragrafo 3, con un'analisi delle immagini satellitari disponibili e registrate in concomitanza delle date degli eventi idrologici estremi individuati. A tal fine sono state utilizzate le immagini satellitari prodotte dalla costellazione COSMO-SkyMed che si basa su una costellazione di quattro satelliti identici dotati di radar ad apertura sintetica (SAR).

Le scene fornite per l'analisi sono coppie interferometriche. L'interferometria è la misurazione delle variazioni della fase del segnale SAR tra due acquisizioni distinte, provenienti dallo stesso bersaglio a terra. Un movimento del terreno altera la distanza sensore-bersagli e questa alterazione induce una variazione nella fase del segnale (FLAMINI ET AL., 2010). L'identificazione delle aree inondate è stata ottenuta median-

te una metodologia innovativa denominata *change detection* tra due scene raffiguranti la situazione di pre e post evento estremo. La tecnica del *change detection* (CD) è il processo di identificazione dei cambiamenti in un oggetto o in un fenomeno che avvengono in un particolare intervallo temporale (LU ET AL., 2004). Si riporta di seguito un'immagine SAR elaborata mediante CD per l'evento estremo del 7 Novembre 2014 (Fig. 1).

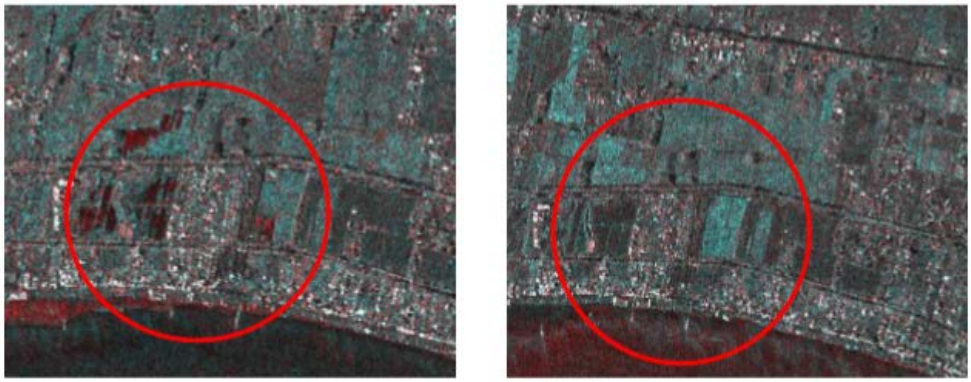

Fig. 1 - CD della coppia interferometrica post evento (a sinistra); CD della coppia interferometrica pre evento (a destra)

Una volta ottenuti i risultati acquisiti mediante l'analisi delle immagini COSMO a disposizione, è stata effettuata una verifica a posteriori sull'efficacia della tecnica del *change dectection* di riportare in maniera precisa le aree allagate.

La risposta è stata positiva nei casi in cui gli allagamenti si sono verificati in corrispondenza di campi agricoli, vedi i casi riscontrati nelle zone Foceverde, Lago di Fogliano, Pantanaccio, Cisterna di Latina, Borgo Bainsizza, Borgo Montello, Borgo Sabotino ed Acciarella, tanto da permettere la localizzazione e la quantificazione precisa delle aree critiche ad inondazioni.

Al contrario, nel caso di allagamenti presenti nel nucleo cittadino la tecnica risulta essere poco efficace. In accordo con quanto appena affermato, durante l'analisi delle immagini inerenti le zone di Chiesuola, Monumento dell'Aviatore presso via Pier Luigi Nervi, Gionchetto, sottopasso Dormigliosa e Pantanaccio, non emergono allagamenti (chiazze nere) o cambiamenti significativi, anche se si ha la certezza che in questi luoghi ci siano stati allagamenti importanti, viste le numerose testimonianze e gli articoli di giornale trovati.

Dalle immagini analizzate per queste zone non è stato possibile percepire chiaramente i fenomeni di allagamento, in quanto l'acqua, nel caso in cui questa sia presente sulla superficie stradale e sugli edifici, tende a non riflettere in maniera adeguata il segnale emesso dal sensore SAR.

5. Analisi della pluviometria associata agli eventi identificati

Per ciascuno degli eventi alluvionali, identificati in precedenza, vengono analizzate le caratteristiche pluviometriche.

Va premesso che la Provincia di Latina è interessata da un macrobioclima mediterraneo caratterizzato da un bioclima pluviostagionale-oceanico. Le precipitazioni medie annue, nel periodo 1950-2015 sono pari a 892 mm, mediamente distribuite in 84 giorni, con minimo in estate, picco massimo in autunno e massimo secondario in inverno. L'umidità relativa media annua è pari a 74%, con minimi di 70% a luglio e ad agosto e massimi di 78% a novembre e a dicembre; mediamente si registrano 6 giorni annui con episodi nebbiosi.

Nell'Agro Pontino, sono presenti 32 stazioni pluviometriche. Tuttavia, la maggior parte delle stazioni a disposizione presentano serie temporali incomplete per intervalli temporali considerevoli.

Vengono analizzate le seguenti stazioni, tutte ricadenti all'interno dei bacini idrografici che interessano il territorio del Comune di Latina: Aprilia, Borgo Montello, Borgo Santa Maria, Campo di Carne, Cisterna di Latina, Cori, Latina Aeroporto Comani, Norma e Velletri.

Per ciascuna delle stazioni di misura elencate, al fine di caratterizzare la probabilità associata agli eventi idrologici estremi identificati in precedenza, sono state calcolate le intensità di pioggia relative al novantanovesimo (99.9p), (99.5p), (99p), novantacinquesimo (95p) e il novantesimo (90p) percentile delle precipitazioni giornaliere (Tab. 1) (CIOFFI ET AL., 2015). Va osservato che il 90p rappresenta il valore di precipitazione superato solo dal 10% dei giorni con piogge maggiori e viene impiegato nell'analisi come soglia per definire un evento di precipitazione intensa, mentre i 99.9p, 99.5p, 99p vengono invece utilizzati come soglia per definire un evento estremo di precipitazione (corrispondente ad una frequenza del 0.1%, 0.5% e 1% dei giorni con pioggia che ha precipitazione più intense).

Dalla tabella si osserva come la maggior parte delle stazioni presentino valori dei percentili piuttosto omogenei. Si discostano solo le stazioni di Cori, Campo di Carne e Borgo Santa Maria, in particolare nei valori del 99-esimo percentile. Tale scostamento è da attribuire alla notevole incompletezza delle serie temporali delle piogge giornaliere di tale stazione che ne influenza la distribuzione statistica. Ciò nonostante, i valori dei percentili associati ad eventi meteorici estremi, caratterizzati dal 99,9-esimo percentile, sono molto prossimi a 88,5 mm per tutte le stazioni. Tale valore sembra costituire una sorta di 'soglia pluviometrica' oltre la quale la probabilità delle zone più vulnerabili del territorio ad essere interessate da eventi alluvionali risulta elevata.

Tab 1. Valori dei percentili delle intensità di piogge giornaliere per le stazioni pluviometriche ricadenti nel comune di Latina.

NOME STAZIONE	90p	95p	99p	99.5p	99.9p
Aprilia	27.4	37.6	65.328	81.168	88.4944
B. Montello	27.4	37.8	62.52	77.665	88.531
B. Santa Maria	27.12	37.17	81.378	87.356	88.6
Campo di Carne	28.68	38.72	81.588	87.776	88.6
Cisterna di Latina	26.28	35.68	60.172	82.064	88.5712
Cori	26.24	37.25	82.274	88.123	88.6
Latina	26	35.6	56.766	80.217	88.4638
Norma	27.16	34.8	58.026	78.187	88.4218
Velletri	25.36	35.19	58.2780	78.361	88.4254

6. Le condizioni meteorologiche alla grande scala associate agli eventi identificati

Al fine di ottenere un'analisi esaustiva sono state analizzate le condizioni meteorologiche che si sono verificate in concomitanza o nei giorni immediatamente precedenti alle date degli eventi alluvionali riscontrati. In particolare per ciascun evento, su di una porzione di emisfero Nord compresa fra -90 e +70 gradi di latitudine e +20 e +80 gradi di longitudine, è stato ricostruito, mediante analisi retrospettiva, il trasporto di umidità in atmosfera. È noto che tale trasporto di umidità si concentra all'interno di strutture di flusso, tipiche e generalmente ben identificabili, che vengono a costituire dei veri e propri fiumi atmosferici (LAVERS ET AL., 2012). L'identificazione di tali strutture in occasione di eventi intensi risulta particolarmente importante al fine di sviluppare metodi di previsione.

La ricostruzione del trasporto di umidità, associata agli eventi identificati, è stata effettuata utilizzando i dati di rianalisi ottenuti dal *dataset* dei dati climatici della NCEP/NCAR. In particolare sono stati utilizzati ai fini dell'analisi i flussi zonali e meridionali di trasporto di umidità, integrati lungo la verticale, nonché quelli del contenuto di vapore d'acqua nell'intera colonna atmosferica (LAVERS ET AL., 2013). Si riporta il fiume atmosferico verificatosi in corrispondenza dell'evento estremo del 7 Novembre 2014, il più gravoso di tutti dal punto di vista dei danni generati sul territorio (Fig. 2)

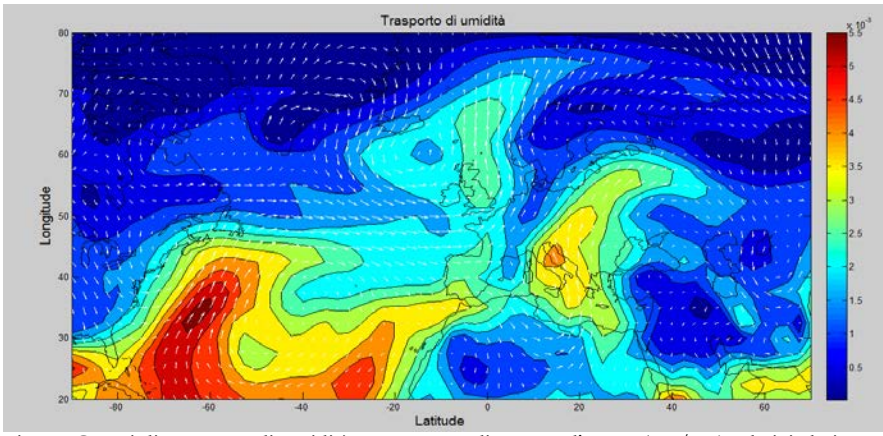

Fig. 2 - Campi di trasporto di umidità e contenuto di vapore d'acqua (Kg/m3) relativi al giorno 7 Novembre 2014.

Le configurazioni del trasporto di umidità per tutti gli eventi invernali analizzati (Fig. 2) presentano notevoli analogie. In tutti i casi è presente una circolazione ciclonica sul Mediterraneo, associata ad un'area depressionaria, mentre sull'Oceano Atlantico sono presenti una regione di alta pressione sulle Bermuda (effetto della oscillazione est - ovest dell'anticiclone delle Azzorre) e un'area depressionaria con associata circolazione ciclonica tra il Regno Unito e l'Islanda (Fig. 3).

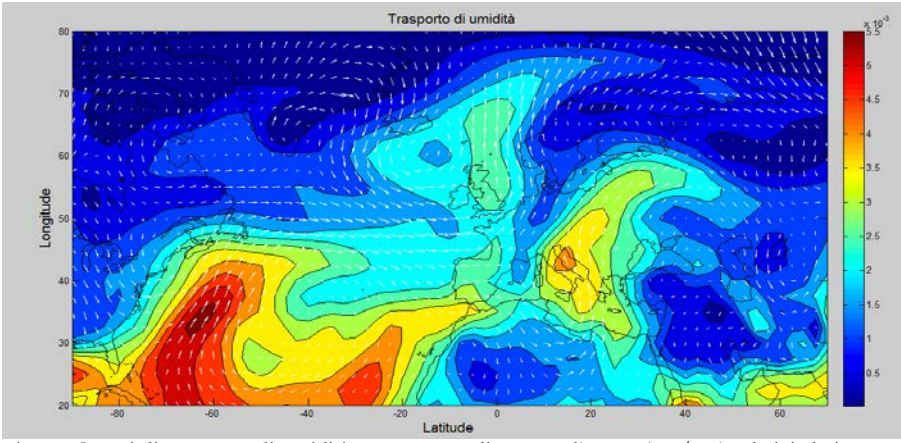

Fig. 3 - Campi di trasporto di umidità e contenuto di vapore d'acqua (Kg/m3) relativi al giorno 7 Novembre 2014, in cui vengono evidenziati i vortici di alta e bassa pressione che tendono a determinare una concentrazione di umidità, causa di precipitazioni intense sulla penisola italiana

Dalla figura si evidenzia come la combinazione dei centri di alta pressione e bassa pressione descritti in precedenza agiscano nel determinare una concentrazione di umidità e una associata precipitazione intensa sulla penisola italiana, favorita da una situazione di blocco sui Balcani.

7. Discussione e prospettive future

Con riferimento alla sola Provincia di Latina, la Protezione Civile ha stimato che i danni associati a ciascuno degli eventi alluvionali verificatisi nell'ultima decade nel territorio del Comune di Latina siano pari in media a circa 5 milioni di euro. Recenti analisi della pluviometria associata agli eventi alluvionali (CIOFFI ET AL., 2016), condotte dall'Università di Roma La Sapienza nell'ambito di un progetto di ricerca sottoscritto dalla Protezione civile del Comune di Latina hanno evidenziato un incremento in frequenza ed intensità delle piogge estreme, in coerenza con quanto previsto per il futuro prossimo in conseguenza dei cambiamenti climatici in corso.

Sempre in conseguenza dei cambiamenti climatici, si prevedono più frequenti e prolungati periodi di siccità in grado di determinare scarsità della risorsa idrica sia per uso civile, sia per uso agricolo, nonché fenomeni idrogeologici avversi quali salinizzazione delle falde acquifere e formazione di *sinkhole*.

La mitigazione del rischio associato ai suddetti eventi idrologici estremi richiede un approccio integrato che includa: la gestione delle emergenze attraverso sistemi di *early warning* e *now casting*; la pianificazione delle azioni sul breve e sul medio periodo necessarie ad aumentale la resilienza del sistema ecologico, sociale ed economico; la proiezione dei futuri andamenti della frequenza e intensità degli eventi estremi sotto scenari di riscaldamento globale; la messa a punto di sistemi di coordinamento fra i vari soggetti istituzionali coinvolti nella gestione del rischio (Comune, Prefettura, Protezione Civile, Consorzio di bonifica); sistemi di informazione, sensibilizzazione e allerta per la popolazione civile e per le associazioni produttive industriali e ancor più agricole, vulnerabili a danni diretti ed indiretti conseguenti a eventi idrologici estremi.

Lo sviluppo di tale approccio integrato si scontra con limitazioni di natura sia gestionale che scientifica e che possono essere sintetizzate in:

1. assenza di integrazione delle reti di monitoraggio esistenti;
2. incertezze nella previsione a scale locale delle alluvioni e della siccità;
3. limiti nella conoscenza delle differenti dimensioni del rischio, del loro valore economico e delle misure di riduzione del rischio;
4. assenza di consapevolezza e capacità delle imprese e della popolazione

ad affrontare rischi e cogliere opportunità legate al cambio climatico.

Come dimostrato in questa nota i recenti sviluppi tecnologici e scientifici forniscono strumenti e conoscenze in grado di concepire e mettere a punto innovativi sistemi di informatizzazione per la gestione delle crisi e dei rischi associati agli eventi estremi idrologici, che includono reti di monitoraggio e sensoristica avanzata, sistemi di previsione e *early-warning* basati su modelli di previsione che integrano i più tradizionali approcci utilizzati in idraulica ed idrologia con tecniche di tipo *machine-learning*. Tecniche, quest'ultime, che consentono di gestire e integrare un numeroso insieme di dati di diversa provenienza, quali, tra gli altri, quelli in tempo reale da reti di monitoraggio a terra, dati satellitari e simulazioni da modelli meteorologici, per effettuare previsioni accurate a scala locale dell'accadimento di eventi estremi idrologici, nonché della individuazione delle aree critiche più vulnerabili. Compito delle istituzioni politiche ed universitarie è quello di contribuire a superare le limitazioni elencate creando consapevolezza e mettendo a disposizione del tessuto sociale e imprenditoriale locale le conoscenze prodotte in modo da contribuire a mitigare i danni connessi agli eventi climatici, nonché alla creazione di nuove figure professionali nel settore della resilienza ai disastri.

Riferimenti bibliografici

CIOFFI F., CONTICELLO F.R., SCOTTI V. (2017), *Analisi degli eventi estremi di tipo idrologico sul territorio di latina, I° Rapporto intermedio della convezione fra il Comune di Latina e il Centro di ricerca e servizi per l'innovazione tecnologica sostenibile del Polo universitario La Sapienza sede di Latina (Ce.R.S.I.Te.S.)* LATINA.

CIOFFI F., LALL U., RUS E., & KRISHNAMURTHY C. K. B. (2015), "Space time structure of extreme precipitation in Europe over the last century", *International Journal of Climatology*, 35.8, pp. 1749-1760.

FLAMINI A., GRANDONI D., SALVI F., BRITTI F. (2010), "e-geos capabilities in rapid emergency response two case-studies: L'Aquila earthquake and Parma/ Pepang typhoon", *ISPRS Archive Vol.XXXVIII, Part 4-8-2-W9, Core Spatial Databases – Updating, Maintenance amd Services – from theory to Practice, Haifa, Israel.*

LAVERS D. A., VILLARINI G., ALLAN R. P., WOOD E. F., & WADE A. J. (2012), "The detection of atmospheric rivers in atmospheric reanalyses and their links to British winter floods and the largescale climatic circulation", *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *117*(D20).

LAVERS D. A., VILLARINI G. (2013), "The nexus between atmospheric rivers and extreme precipitation across Europe", *Geophysical Research Letters*, 40(12), pp. 3259-3264.

LU D., MAUSEL P., BRONDIZIO E., & MORAN E. (2004), "Change detection techniques", *International journal of remote sensing*, *25*(12), pp. 2365-2401.

MERZ B., AERTS J. C. J. H., ARNBJERG-NIELSEN K., BALDI M., BECKER A., BICHET A., DELGADO J. M. (2014), "Floods and climate: emerging perspectives for flood risk assessment and management", *Natural Hazards and Earth System Sciences*, *14*(7), p. 1921.

Biodiversità ed Aree naturali protette

Sergio Zerunian

Abstract

BIODIVERSITY AND PROTECTED NATURAL AREAS. The diversity of species and the ecological diversity are themes of interest to the territorial designer, particularly with regard to Protected Natural Areas. The creation and management of the latter in Italy is regulated by Law n. 394/1991 as well as by many regional byelaws. On a continental scale, the European Union has been working for over twenty years to create the Natura 2000 Network in order to promote biodiversity conservation under two directives, i.e. the Habitats Directive (92/43/EEC) and the Birds Directive (2009/147/EC).

The Pontina Bioregion, which lies 70 km south of Rome, enjoys a high degree of environmental diversity that makes up the physical setting for high levels of biodiversity. The bioregion contains a national park, a regional park, several community-level conservation initiatives called Sites of Community Importance (SCI), some Special Protection Areas (SPA) and some natural monuments. Although the territory would thus appear to be adequately regulated, there are several causes for concern.

This article describes three case studies (the failed creation of Lepini Mountains Regional Park, the poor management of potential ecological corridors revolving around Circeo National Park, and the preoccupying environmental status of the SCI covering the upper reaches of the River Amaseno. It identifies several areas of research and action with potential for enhancing the effectiveness of interventions designed to safeguard biodiversity in the bioregion while also promoting the development of its Protected Natural Areas.

KEY WORDS: Biodiversity, Protected Natural Areas, Lepini Mountains, Circeo National Park, Amaseno River

1. Introduzione

La biodiversità, o diversità della vita, è l'insieme delle varie espressioni in cui si manifesta la vita sulla Terra. Essa può essere considerata a tre diversi livelli

(vedi CUNNINGHAM ET AL. 2007): 1) la *diversità genetica*, che è una misura delle varietà di differenti versioni degli stessi geni entro le singole specie; 2) la *diversità di specie*, che è una misura delle differenti specie di organismi che costituiscono singole comunità biotiche; 3) la *diversità ecologica*, che valuta la ricchezza e la complessità di una comunità biotica e che comprende il numero di nicchie ecologiche, di livelli trofici, di processi ecologici che catturano energia, sostentano le reti alimentari e riciclano i materiali entro l'ecosistema di cui è parte. Con un approccio territorialista, in una determinata area possono essere prese in esame la diversità di specie e la diversità ecologica.

Per Aree naturali protette si intendono porzioni di territorio in cui sono presenti significativi valori naturalistici e ambientali (formazioni fisiche, geologiche, geomorfologiche e biologiche) che sono sottoposte ad uno speciale regime di tutela e di gestione allo scopo di perseguire, in particolare, le seguenti finalità (L. n. 394/1991, art. 1a): conservazione di specie animali e vegetali, di associazioni vegetali o forestali, di singolarità geologiche, di formazioni paleontologiche, di comunità biotiche, di biotopi, di valori scenici o panoramici, di processi naturali, di equilibri idraulici e idrogeologici, di equilibri ecologici. Nel nostro Paese la materia è regolamentata dalla Legge quadro sulle Aree protette, L. n. 394/1991 attualmente in corso di aggiornamento da parte del Parlamento, e da varie leggi regionali che recepiscono ed integrano la legge nazionale; nella Regione Lazio, ad esempio, vige la L. R. n. 29/1997.

Nell'Unione Europea sono in vigore due direttive che hanno la finalità di salvaguardare la biodiversità: la Direttiva 'Habitat' 92/43/CEE e la Direttiva 'Uccelli' 2009/147/CE (che aggiorna ed integra la precedente Direttiva 79/409/CEE). La prima rappresenta lo strumento più importante per la conservazione degli habitat e delle specie nel territorio dell'UE; in essa vengono forniti concreti indirizzi per la costruzione di una rete europea di siti ('Siti di Importanza Comunitaria', SIC, parte dei quali già trasformati in 'Zone Speciali di Conservazione', ZSC) ritenuti fondamentali per la conservazione del patrimonio naturale del continente europeo. In Italia la Direttiva 'Habitat' è stata recepita con il DPR 357/97, successivamente modificato e integrato dal DPR 120/03. La seconda direttiva si prefigge lo scopo di conservare tutte le specie di uccelli viventi allo stato selvatico nel territorio della UE. La norma prevede l'adozione di misure speciali di conservazione per quanto riguarda gli habitat e per garantire la sopravvivenza e la riproduzione delle specie più vulnerabili; gli Stati membri devono pertanto individuare e classificare come 'Zone di Protezione Speciale' (ZPS) una serie di territori idonei a raggiungere gli scopi suddetti. In Italia la Direttiva 'Uccelli' è stata recepita con la Legge 157/92, che ha come oggetto la tutela della fauna omeoterma e il prelievo venatorio.

Le due Direttive 'Habitat' e 'Uccelli' costituiscono la base normativa di un sistema territoriale europeo per la conservazione della natura, chiamato 'Rete Natura 2000'. Il grande insieme dei siti di questa rete ha lo scopo di garantire la conservazione delle specie selvatiche e una significativa rappresentanza degli habitat tipici del continente. In Italia sono state istituite 503 Zone di Protezione Speciale (ZPS) e 2256 Siti di Importanza Comunitaria (SIC) tali da interessare 4.987.366 ha, equivalenti al 16,5% del territorio nazionale (DI MARZIO E DUPRÈ 2005). Un recente aggiornamento ripreso dal sito *web* del Ministero dell'Ambiente (gennaio 2017) porta i SIC a 2321, di cui 1179 trasformati in ZSC, e le ZPS a 610.

Le Aree naturali protette possono essere considerate un 'serbatoio' di biodiversità, capace di svolgere una duplice funzione: 1) mantenere entro i confini di ognuna di esse un'alta e funzionale diversità genetica delle specie che costituiscono la comunità biotica, che può risultare particolarmente importante a livello globale per le specie rare e quelle minacciate di estinzione; 2) 'esportare' nei territori esterni a ciascuna di esse una parte di questa diversità genetica, contribuendo così al mantenimento e rinnovamento della diversità di ogni singola specie.

A livello territoriale, oltre all'importanza delle singole Aree naturali protette, per la conservazione della biodiversità assume un ruolo fondamentale la costruzione di un sistema di Aree naturali protette collegate tra loro per mezzo di idonei 'corridoi ecologici' o 'corridoi di habitat' (Fig. 1). I corridoi permettono alle piante e agli animali di disperdersi da un'Area naturale protetta all'altra, consentendo il flusso genico tra popolazioni vicine e lasciando aperta la possibilità di colonizzazione di nuove aree dove siano presenti habitat idonei.

2. Diversità ambientale ed Aree naturali protette nella Bioregione Pontina

Tenendo conto dei confini della Bioregione Pontina (vedi Fig. 1 nell'articolo introduttivo di questo volume), nell'area in esame si osserva un'elevata diversità ambientale. Possono infatti essere riconosciuti otto macrosistemi ambientali, che vengono riportati nella Tabella 1.

In questo territorio sono presenti numerose Aree naturali protette, appartenenti a diverse categorie (Parchi nazionali, Parchi regionali, Monumenti naturali, Siti d'Importanza Comunitaria, Zone di Protezione Speciale). La loro rappresentazione cartografica è oggetto della Figura 2, mentre un elenco particolareggiato è riportato nella Tabella 2.

Fig. 1 - Un sistema funzionale per la conservazione della biodiversità a livello territoriale può essere costituito da un insieme di Aree naturali protette connesse tra loro da idonei 'corridoi ecologici'. (da NOSS E HARRIS 1986)

Tab. 1 - Ambiti geografici e relative tipologie ecosistemiche individuabili nella Bioregione Pontina.

Ambiti geografici	*Tipologie ecosistemiche*
Pianura Pontina (limite ovest Fiume Astura)	ambiente planiziario + laghi costieri
Promontorio del Circeo	ambiente "insulare" con distinti sistemi nei versanti nord e sud
Nucleo centrale e versante sud-ovest dei Monti Lepini	ambiente montano + ambienti ipogei
Parte occidentale dei Monti Ausoni	ambiente montano + ambienti ipogei
Bacino del Fiume Amaseno	ambiente fluviale
Bacino del Lago di Fondi	ambiente fluvio-lacustre
Isole Ponziane occidentali	ambienti insulari
Mare Tirreno	ambiente marino con fondali sabbiosi + a. m. con fondali rocciosi

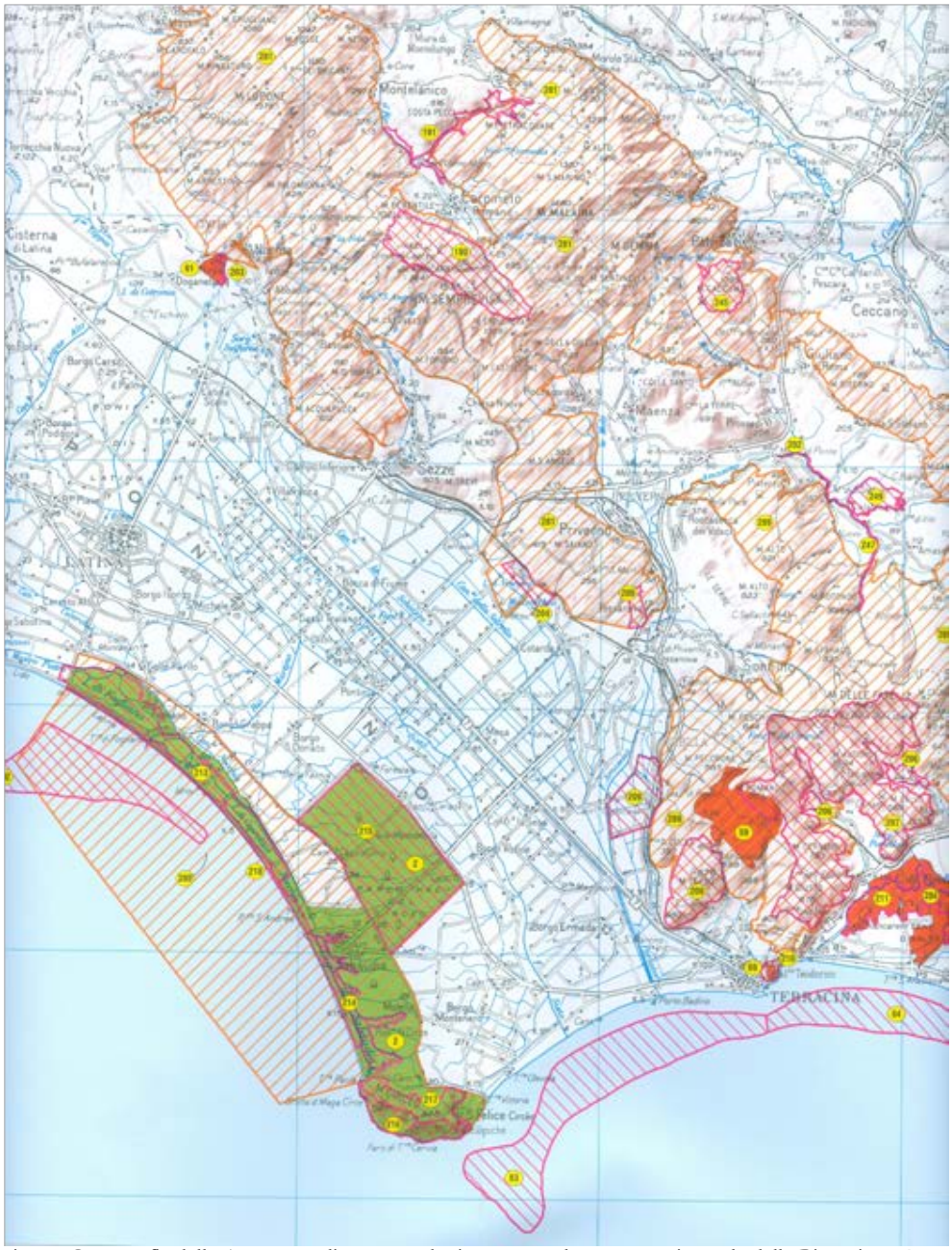

Fig. 2 - Cartografia delle Aree naturali protette che interessano la parte continentale della Bioregione Pontina; per la parte insulare ci sono alcuni SIC e una ZPS che riguardano le Isole di Ponza, Palmarola e Zannone. (da REGIONE LAZIO - AGENZIA REG. PARCHI 2007).

Tab. 2 - Elenco delle Aree naturali protette presenti nella Bioregione Pontina.

Tipologia	*Aree naturali protette*
Parchi Nazionali	Circeo
Parchi Regionali	Monti Ausoni e Lago di Fondi (compreso ex M.n. Campo Soriano)
Monumenti Naturali	Giardino di Ninfa, Area sorgiva del Monticchio, Calcari nella cava Petrianni (Sezze)
Siti d'Importanza Comunitaria	Fondali tra Torre Astura e Capo Portiere, Fondali tra Capo Portiere e Lago di Caprolace; Fondali tra Capo Circeo e Terracina; Fondali tra Terracina e Lago Lungo; Fondali circostanti l'Isola di Palmarola; Fondali circostanti l'Isola di Ponza; Fondali circostanti l'Isola di Zannone; Isole di Palmarola e Zannone; Monte Semprevisa e Pian della Faggeta; Grotta degli Ausi; Ninfa (ambienti acquatici); Laghi dei Gricilli; Bosco Polverino; Sugherete di San Vito e Valle Marina; Monti Ausoni meridionali; Monte Leano; Monte Sant'Angelo; Canali in disuso della bonifica pontina; Lago di Fondi; Lago Lungo; Laghi di Fogliano, Monaci, Caprolace e Pantani dell'Inferno; Lago di Sabaudia; Foresta demaniale del Circeo; Promontorio del Circeo (Quarto caldo); Promontorio del Circeo (Quarto freddo); Dune del Circeo; Duna di Capratica; Monte Caccume; Fiume Amaseno (alto corso); Bosco Selvapiana di Amaseno
Zone di Protezione Speciale	Monti Lepini centrali, Lago di Fondi, Monti Ausoni e Aurunci, Isole di Ponza Palmarola Zannone, Parco Nazionale del Circeo

3. Criticità: considerazioni generali e casi di studio

Apparentemente la biodiversità della Bioregione Pontina risulta ben tutelata attraverso gli strumenti normativi preposti alla conservazione della natura (vedi ad esempio le numerose Aree naturali protette riportate nella Tab. 2 e la cartografia oggetto della Fig. 2). In realtà si osservano non poche criticità; queste le principali:

- comprensori di grande valore naturalistico, come i Monti Lepini, hanno un livello di protezione insufficiente e geograficamente limitato (vedi il successivo punto 3.1);
- non esiste un 'sistema' di Aree naturali protette ricadenti nella Provincia di Latina;
- per importanti Aree naturali protette, come il Parco Nazionale del Circeo (PNC), non è stato ancora redatto in forma definitiva e quindi

approvato un piano di gestione, mentre per altre si osserva un'insufficiente applicazione dei piani di gestione redatti;

- esistono solo sulla carta delle 'reti ecologiche' nel territorio della Provincia di Latina (vedi nel successivo punto 3.2 la gestione esclusivamente idraulica del reticolo idrografico);
- vengono sistematicamente disattese importanti norme di tutela ambientale, con gravi ripercussioni sulla biodiversità (vedi nel successivo punto 3.3 il caso del SIC 'Fiume Amaseno - alto corso');
- non c'è alcuna struttura museale di riferimento per le Aree naturali protette esistenti.
- Illustriamo tre casi di studio che a nostro avviso sono rappresentativi della situazione realmente esistente nella bioregione in oggetto, e che forniscono quindi un supporto ad alcune delle posizioni critiche appena espresse.

3.1. Opportunità (finora disattesa) di un Parco Regionale dei Monti Lepini

I Monti Lepini costituiscono un sistema montuoso di natura calcarea che arriva a 1536 metri s.l.m. (Monte Semprevisa), in parziale continuità geografica con i Colli Albani a N-O e i Monti Ausoni a S-E; da questi ultimi li separa il Fiume Amaseno. Dal punto di vista amministrativo ricadono in tre province: Roma, Latina e Frosinone. A N-E si affacciano sulla Valle del Fiume Sacco, mentre a S-O si affacciano sulla Pianura Pontina e il Mar Tirreno. Nella Figura 3 si vedono una parte delle tipologie ecosistemiche che si incontrano procedendo dal mare verso i monti; sullo sfondo c'è il Monte Semprevisa parzialmente innevato. Ricche risultano essere la biodiversità e la geodiversità dell'intero comprensorio, documentate da ricerche condotte a partire dai primi anni Ottanta (vedi ad esempio ZERUNIAN, FRANZINI 1982 per la fauna) fino ad oggi (vedi la sintesi di CORSETTI ET AL. 2015 sulla biodiversità). Di particolare rilievo è il complesso sistema di grotte presenti nel territorio. A questi elementi si possono aggiungere alcuni siti d'interesse paleontologico e numerosi siti d'interesse paesaggistico, archeologico e storico.

Nonostante sui Monti Lepini siano presenti una ZPS (Monti Lepini Centrali), cinque SIC, vari habitat d'interesse comunitario (almeno 15) e numerose specie d'interesse comunitario, non si è ancora dato seguito alle varie proposte d'istituzione di un Parco Naturale Regionale, avanzate a partire dalla metà degli anni Settanta. L'istituzione del Parco è altamente auspicabile per progetti di conservazione e valorizzazione di ampio respiro, riguardanti sia gli aspetti naturalistici (biodiversità e geodiversità) che quelli storico-archeologici (con elementi di pregio d'Epoca Romana e Medioevale).

Fig. 3 - I Monti Lepini visti dal mare. In un transetto di 35 km circa tracciato nella direzione dell'osservatore si incontrano le seguenti tipologie ecosistemiche: ambiente marino con fondali sabbiosi, duna costiera, stagni salmastri, lago costiero (di Caprolace), prateria planiziaria (oggi sostituita da agroecosistemi), ambiente collinare, ambiente montano (fino ai 1536 mt del Monte Semprevisa). *(foto di Giuseppe Forcina)*

3.2. Attuale gestione dei potenziali corridoi ecologici che interessano il Parco Nazionale del Circeo

Nel convegno organizzato per celebrare il settantennale del Parco Nazionale del Circeo abbiamo affrontato il tema della conservazione della biodiversità a livello territoriale (ZERUNIAN 2005). Uno dei punti salienti era rappresentato dall'ipotesi di realizzare corridoi ecologici, o corridoi di habitat, capaci di connettere gli ecosistemi del PNC con i Monti Lepini e i Monti Ausoni (Fig. 4).

Altro punto era costituito dall'ipotesi di rinaturalizzazione delle sponde dei Laghi di Fogliano, dei Monaci e di Caprolace, sagomate in forma geometrica ed artificializzate durante la 'bonifica integrale' della Pianura Pontina avvenuta negli anni Venti e Trenta del Novecento (Fig. 5).

L'attuale gestione esclusivamente idraulica portata avanti dal Consorzio di Bonifica dell'Agro Pontino contrasta in modo evidente con le ipotesi di corridoi ecologici, che dovrebbero essere realizzati sfruttando la rete dei canali e dei corsi d'acqua oggi artificializzati.

Fig. 4 - Ipotesi di corridoi ecologici (in tratteggio rosso) fra il Parco Nazionale del Circeo (confine in verde) e i Monti Lepini, a nord, e i Monti Ausoni, a est. (da ZERUNIAN 2005)

Nella Figura 6 si può vedere un particolare del Rio Martino, dove gli interventi di 'pulizia' delle sponde e dell'alveo realizzati dal Consorzio hanno cancellato ogni forma di rinaturalizzazione spontanea che aveva avuto luogo nel corso degli anni lasciando il sistema alla sua evoluzione naturale. In questo modo il PNC resta isolato dagli altri sistemi naturali presenti nel territorio, con grave danno per la biodiversità dell'Area naturale protetta.

Fig. 5 - Durante la 'bonifica integrale' della Pianura Pontina sono state artificializzate le sponde dei laghi costieri dei Monaci (a sinistra) e di Fogliano (a destra). Per il deflusso delle acque è stata canalizzata la gran parte dei corsi d'acqua naturali (come il Rio Martino, visibile nella foto). *(foto di Giuseppe Forcina)*

Fig. 6 - Immagine del Rio Martino del 2008, prima (a) e dopo (b) un intervento di 'pulizia' delle sponde realizzato dal Consorzio di Bonifica dell'Agro Pontino. Con l'esclusiva gestione idraulica viene annullato il possibile ruolo di corridoi ecologici dei corsi d'acqua. *(foto di Giovanni Mastrobuoni)*

3.3. Stato dell'ambiente nel SIC 'Fiume Amaseno - alto corso'

La parte alta del Fiume Amaseno, ricadente nel territorio dei Comuni di Prossedi ed Amaseno, rappresenta l'ultimo tratto fluviale con caratteristiche idromorfologiche naturali dell'intera Bioregione Pontina (Fig. 7), la cui rete idrografica è costituita prevalentemente da canali di bonifica e corsi d'acqua canalizzati; a questo si possono aggiungere altri due tratti, però poco più che puntiformi: il primo del Fiume Ninfa-Sisto e il primo del Torrente Capo d'Acqua. Le ricerche che maggiormente hanno contribuito alla conoscenza ittiologica ed ecologica del Fiume Amaseno, anche se risultano oggi un po' datate, sono quella di ZERUNIAN (1984) e quella coordinata da ZERUNIAN E LEONE (1996).

Nel lavoro di ZERUNIAN (1984) viene individuata la comunità ittica dell'alto corso del Fiume Amaseno. In questa, per importanza faunistica, spiccano le presenze del ghiozzo di ruscello (*Gobius nigricans*) e della lampreda di ruscello (*Lampetra planeri*); risultano inoltre presenti il cavedano (*Leuciscus cephalus*), la rovella (*Rutilus rubilio*), il barbo (*Barbus plebejus*) e, nelle aree dove rallenta la velocità della corrente, il cobite (*Cobitis taenia bilineata*).

Fig. 7 - Alto corso del Fiume Amaseno al confine fra le Province di Latina e Frosinone, SIC IT6050023, gennaio 1995. Si tratta dell'ultimo tratto significativo di corso d'acqua naturale dell'intera Bioregione Pontina. *(foto dell'autore)*

Il primo tratto del fiume con acque perenni viene definito scarsamente antropizzato e vengono ipotizzate misure di salvaguardia, come l'istituzione di un'area protetta di livello regionale, al fine di tutelare il quadro idromorfologico con caratteristiche naturali e le specie di maggior interesse ittiologico. Viene infine ipotizzata la reintroduzione della trota macrostigma (*Salmo trutta macrostigma*), verosimilmente presente in passato.

Come già accennato, fra gli elementi di maggiore interesse faunistico del primo tratto del Fiume Amaseno spicca la presenza di una popolazione di ghiozzo di ruscello, specie inserita nell'Allegato II della 'Direttiva Habitat'. Su questa popolazione sono stati compiuti studi riguardanti il comportamento riproduttivo (ZERUNIAN ET AL. 1988) e l'ecologia della riproduzione, che hanno permesso di evidenziare interessanti e complessi aspetti della biologia della specie.

Dal 2006 (anno in cui la Commissione Europea ha adottato con propria decisione l'elenco dei pSIC della Regione Biogeografica Mediterranea) il primo tratto con acque perenni del Fiume Amaseno e un piccolo fosso con acque temporanee affluente di sinistra costituiscono un SIC, Sito d'Importanza Comunitaria, facente parte della Rete Natura 2000 prevista dalla Direttiva 'Habitat' 92/43/CEE: IT6050023 'Fiume Amaseno (alto corso)'.

Nel mese di agosto 2016 abbiamo compiuto delle osservazioni sull'alto corso del Fiume Amaseno, nel primo tratto con acque perenni, ed abbiamo constatato gravi alterazioni dell'ambiente naturale che sono venute a sommarsi ad altri elementi di disturbo messi in atto in periodi precedenti (ZERUNIAN 2016). La prima alterazione, databile nel 2014, ha riguardato il taglio degli ontani (*Alnus* sp.) storicamente presenti sulla sponda destra del fiume; sono venute così meno le varie funzioni positive svolte dalla vegetazione ripariale a vantaggio dell'ecosistema fluviale e della sua comunità ittica.

La seconda alterazione ha riguardato un'ulteriore riduzione della portata (dopo quella già presente a causa del prelievo idrico per l'irrigazione di campi coltivati a foraggio utilizzato nell'allevamento bufalino intensivo, divenuta nel tempo sempre più consistente) conseguente alla realizzazione di una centralina idroelettrica; per quanto ne sappiamo, tale struttura è stata realizzata ed è entrata in funzione nel 2015 senza che il relativo progetto contenesse la Valutazione d'incidenza prevista dall' art. 6 della Direttiva 'Habitat' e dall'art. 5 dei DPR n. 357/1997 e n. 120/2003 (integrativo e sostitutivo del precedente) che rappresentano le norme di recepimento della direttiva nel nostro Paese.

La terza alterazione, da noi osservata per diversi giorni consecutivi nell'agosto 2016, ha riguardato il grave danneggiamento della vegetazione acquatica operato da un branco di capre di circa 150 unità intenzionalmente

portate a pascolare dentro l'alveo del fiume. Tutto ciò ha prodotto la distruzione dell'habitat fluviale, con la scomparsa in un tratto del fiume della comunità ittica.

Gli elementi che dal 2014 al 2016 hanno portato alla distruzione dell'habitat fluviale dell'alto Amaseno si inseriscono nel quadro nazionale analizzato da ZERUNIAN (2002) e sono ben visibili nella foto della Figura 8; risaltano in modo inequivocabile dalla comparazione fra quest'ultima foto e quella della Figura 7. Nella foto scattata nell'agosto del 2016 risultano evidenti: a) l'assenza quasi totale di vegetazione arborea ripariale; b) l'estrema riduzione della portata idrica causata dall'irrigazione di campi di granturco e dall'alimentazione di una centralina idroelettrica (a destra nella foto); c) un branco di capre mentre si nutre dentro l'alveo fluviale. Quanto evidenziato ha determinato la probabile estinzione locale del ghiozzo di ruscello (Fig. 9).

Fig. 8 - Alto corso del Fiume Amaseno (stesso luogo della Fig. 7), agosto 2016. È evidente il degrado dell'habitat a causa del taglio della vegetazione arborea ripariale, dell'eccessivo prelievo idrico per l'irrigazione di campi di granturco e l'alimentazione di una centralina idroelettrica (a destra nella foto), del pascolo di un branco di capre dentro l'alveo fluviale. *(foto dell'autore)*

Fig. 9 - Un esemplare di ghiozzo di ruscello, *Gobius nigricans*, catturato nel Fiume Amaseno e fotografato in acquario; la specie, endemica nell'Italia centrale tirrenica ed inserita nell'Allegato II della Direttiva 'Habitat', risulta 'in pericolo' a livello nazionale secondo i criteri dell'IUCN (Unione Internazionale per la Conservazione della Natura) ed oggi probabilmente estinta a livello locale. *(foto dell'autore, 1984)*

In conclusione, il caso descritto prova che le misure di salvaguardia degli habitat e delle specie contenute nella Direttiva 'Habitat' 92/43/CEE e nei due DPR di recepimento (n. 357/1997 e n. 120/2003) esistono solo sulla carta. Per quanto riguarda il SIC IT6050023 'Fiume Amaseno (alto corso)' né le Amministrazioni territorialmente interessate (Regione Lazio, Province di Frosinone e di Latina, Comuni di Amaseno e di Prossedi) né gli Organi deputati a vigilare sul rispetto delle leggi (Magistratura e Corpi di Polizia nazionali, provinciali e comunali) sono intervenuti per impedire l'evidente danno ambientale; va comunque detto che la normativa citata assegna alla Regioni e alle Province autonome le competenze relative alla conservazione degli habitat e delle specie. Pur in assenza di opere ad alto impatto ambientale, la distruzione dell'habitat fluviale dell'alto Amaseno è avvenuta in seguito alla somma di varie 'piccole' azioni compiute con un'ottica di esclusivo sfruttamento delle risorse naturali, senza alcuna considerazione e rispetto per habitat, specie e comunità biotiche.

Quanto esposto evidenzia che nella Bioregione Pontina c'è un'insufficiente 'cultura ambientale', sia a livello delle popolazioni locali che dei tecnici e del personale appartenente agli organi di polizia a cui è deputata la messa in atto e il controllo dell'applicazione della normativa. C'è quindi bisogno di iniziative in grado di far crescere questa cultura, con ricadute positive sul territorio in termini di conservazione e di valorizzazione.

4. Conclusioni

Tenendo conto da un lato dell'elevata diversità ambientale, che costituisce la condizione di base per l'espressione di alti valori di biodiversità, dall'altro dell'insufficiente livello effettivo di protezione e di valorizzazione del territorio, riteniamo ci sia ampio spazio per migliorare in chiave conservazionista e territorialista la situazione esistente nella Bioregione Pontina. In questa direzione un contributo tecnico-scientifico potrebbe essere fornito agli Enti locali dalla sede di Latina della Facoltà di Ingegneria Civile e Industriale di 'Sapienza' Università di Roma e dal Nodo Pontino della Società dei Territorialisti/e su varie tematiche; tra queste riteniamo possano essere attuali e di interesse le seguenti:

- monitoraggio, analisi critica ed elaborazione di proposte finalizzate alla realizzazione, a un concreto funzionamento e alla valorizzazione di un Sistema delle Aree naturali protette;
- realizzazione di una Carta degli ambienti naturali a scala particolareggiata (base per la conservazione della biodiversità e della geodiversità);
- realizzazione di un Museo territoriale sulla biodiversità, la geodiversità e le relative minacce antropiche;
- realizzazione di iniziative, pubblicazioni ed eventi capaci di far crescere la 'cultura ambientale' nel territorio della bioregione, con particolare attenzione al mondo della scuola.

Riferimenti bibliografici

CORSETTI L., ANGELINI C., COPIZ R., MATTOCCIA M., NARDI G. (2015 - a cura di), *Biodiversità dei Monti Lepini*. Edizioni Belvedere, Latina, 351 pp.

CUNNINGHAM W.P., CUNNINGHAM M.A., SAIGO B.W. (2007), *Fondamenti di Ecologia*. McGraw-Hill, Milano, 363 pp.

DI MARZIO P., DUPRÈ E. (2005), Aree protette e Rete Natura 2000, in BLASI C., BOITANI L., LA POSTA S., MANES F., MARCHETTI M. (a cura di), *Stato della biodiversità in Italia, contributo alla strategia nazionale per la biodiversità*, Palombi Editore, Roma, pp. 412-414.

NOSS R.P., HARRIS L.D. (1986), Nodes, Networks and MUMs: Preserving Diversity at All Levels, *Environmental Management*, vol. 10, pp. 299-309.

REGIONE LAZIO – AGENZIA REGIONALE PARCHI (2007), *Carta delle Aree protette e della Rete Natura 2000 (SIC-ZPS) del Lazio, scala 1:200.000*. Edizioni ARP, Roma.

ZERUNIAN S. (1984), I Pesci del Fiume Amaseno e dei corsi d'acqua della Pianura Pontina (Lazio). *Quaderni Ist. Idrobiol. Acquac. Brunelli*, vol. 4, n. 1, pp. 26-67.

ZERUNIAN S. (2002), *Condannati all'estinzione? Biodiversità, biologia, minacce e strategie di conservazione dei Pesci d'acqua dolce indigeni in Italia*. Edagricole, Bologna, X + 220 pp.

ZERUNIAN S. (2005), La conservazione della biodiversità del Parco Nazionale del Circeo, in ZERUNIAN S. (a cura di), *Habitat, flora e fauna del Parco Nazionale del Circeo*, Corpo Forestale

dello Stato e Parco Nazionale del Circeo, Sabaudia, pp. 255-273.
ZERUNIAN S. (2016), La distruzione dell'habitat fluviale dell'alto Amaseno (Lazio), *Biologia Ambientale*, vol. 30, n. 1, pp. 49-56.
ZERUNIAN S., D'ONOFRIO E., GIBERTINI G. (1988), The biology of *Gobius nigricans* (Osteichthyes, Gobiidae). I. Observations on the reproductive behaviour. *Bollettino di Zoologia - Italian Journal of Zoology*, vol. 55, n. 4, pp. 293-298.
ZERUNIAN S., FRANZINI G. (1982 - a cura di), *Contributi alla conoscenza della fauna dei Monti Lepini e qualche proposta d'intervento.* XIII Comunità Montana dei Monti Lepini (Lazio), Priverno, 567 pp.
ZERUNIAN S., LEONE M. (1996 - a cura di), *Monitoraggio delle acque interne e Carta ittica della Provincia di Latina: i bacini campione del Fiume Amaseno e del Lago di Fondi*. Amm. Provinciale Latina, 264 pp.

Il patrimonio dei centri storici del versante tirrenico dei Monti Lepini: per una documentazione iconografica fra memoria storica e futuro

Maria Martone

Abstract

THE HERITAGE OF THE HISTORIC CENTERS OF THE TIRRENICO SIDE OF THE MONTI LEPINI: FOR ICONOGRAPHIC DOCUMENTATION BETWEEN HISTORICAL MEMORY AND THE FUTURE. Along the slopes of the Lepini Mountains, on the side facing the Pontine plain, we can recognize the signs of the history of a territory that has been changing over time and which is in danger, not so far in the future, of losing its cultural identity. These signs can be read through the urban systems, the emerging architectures and the environmental images of the centers developing on small heights.

This paper aims at defining a survey methodology in order to document small lepini centers, considering them like an unique system of territorial common goods, identifying both their extensive historical and architectural heritage and their criticalities. Hence, it will be possible to investigate the features of individual places within a territorial system, in order to lay the foundation for building new design hypotheses of sustainable development.

Comparison between historical and contemporary cartography/iconography, and direct urban reconnaissance have proved to be priority research tools, able to identify those elements japertising the conservation of an environment in which the signs of history are still evident. The frequent use of new constructive elements, as long as the introduction of new materials outside the local culture, has indeed weakened the historical significance of a building fabric representative of a past era, putting it at risk.

KEYWORDS: historic centers of the Lepini mountains, territorial common goods, iconographic and cartographic documentation.

1. Il territorio

Antichi paesi sorgono lungo le pendici del versante tirrenico dei Monti Le-

pini, segnando il passaggio tra la l'Agro Pontino e la montagna. Dalla costa alla pianura, alla collina e alla catena dei Lepini cambia non solo la morfologia del territorio ma cambiano anche le genti, le tradizioni, i nuclei urbani. Agli abitanti di origine colonica, i cui padri furono coinvolti nei lavori della bonifica integrale, si affiancano popolazioni di origini millenarie, alle moderne città di nuova fondazione si contrappongono borghi medievali. Colpisce questa diversità che si identifica in un unico paesaggio in cui ciascun centro storico ha un ruolo importante nella storia del territorio pontino.

Alcuni segni orografici come le linee di crinale, di mezza costa e di fondovalle individuano percorsi di attraversamento del territorio utilizzati fin dall'antichità dalla popolazione locale. È possibile riscontrare un andamento quasi parallelo alla costa del crinale della catena montuosa dei Lepini che ha inizio nei pressi di Rocca Massima per poi dividersi, in località Selvapiana, in due rami: uno verso Gorga e l'altro in direzione Prossedi. La linea di mezza costa unisce, invece, i centri abitati situati su una serie di alture di medio livello altimetrico da cui si domina la vasta distesa della Pianura Pontina. I comuni interessati sono da Roma verso Terracina: Rocca Massima, Cori, Norma, Sermoneta, Bassiano, Sezze, Roccagorga, Maenza e Prossedi. La terza linea di riferimento segue nel fondovalle la Via Appia. 'Paese di ingresso ai Lepini' è Giulianello che sorge in pianura, tra i Colli Albani e i Lepini, sotto l'altura di Rocca Massima (Fig. 1). La successiva realizzazione di strade di attraversamento esterne all'area montana, come ad esempio la Pedemontana, portò ad un declassamento di alcuni tracciati (PALLOTTINI, 1976). Realizzata nel suo originario tracciato dalle popolazioni volsche, la Via Pedemontana correva ai piedi dei Monti Lepini, sollevata rispetto al livello della pianura, collegando Roma a Napoli, con un percorso che superava le paludi pontine.

Fig. 1 - Planimetria IGM in cui sono evidenziati i comuni di Giulianello, Rocca Massima, Cori, Norma, Sermoneta, Bassiano, Sezze, Roccagorga, Maenza e Prossedi e la linea di crinale dei Monti Lepini, scala originaria 1:250.000. A destra: - *Carta Topografica della Provincia di Roma,* C.A.I., Sezione di Roma, Istituto

Cartografico Italiano, 1893. Ipotesi di percorsi di crinale principali e secondari (PALLOTTINI, 1976, 65), scala originaria 1:250.000

Con la costruzione dell'Appia, la strada andò in disuso e solo dopo la caduta dell'impero romano fu riutilizzata fino all'età moderna.

I continui allagamenti della zona, dovuti all'abbandono da parte dei Romani dei canali per il deflusso delle acque, per secoli impedirono, infatti, il passaggio sulla via consolare Appia. Lungo il tracciato della Via Pedemontana, sorsero i centri di*: Cora, Norba, Ninfa, Valvisciolo, Sulmo e Setia.*

La realizzazione nel 1892 del tracciato della ferrovia Velletri - Terracina, disposto parallelo alla Via Pedemontana, e la successiva costruzione, agli inizi del Novecento, della linea ferroviaria *La Direttissima* che collegava Roma con Napoli, favorirono l'espansione di alcuni centri in nuovi nuclei urbani in prossimità delle stazioni ferroviarie, come Sezze Scalo e Sermoneta Scalo.

Con la Bonifica integrale dei primi anni del Novecento, si costruirono, insieme a nuovi borghi e città, nuove strade di attraversamento della pianura. La Mediana e la Litoranea si affiancarono alla ripristinata Via Appia, riducendo il ruolo della Via Pedemontana come asse principale nei collegamenti verso il sud.

2. La documentazione di un territorio. Alcuni criteri di indagine

È noto che lo studio della storia di un territorio debba comprendere principalmente la conoscenza delle trasformazioni che si sono susseguite nel tempo in relazione a diversi aspetti che vanno dalla conformazione geomorfologica, dalla posizione geografica e dall'esposizione climatica all'utilizzo del suolo, alla struttura politica e socio-economica dei centri abitati, al rapporto fra risorsa naturale e produzione ed al rapporto con il progresso tecnico industriale e tecnologico.

Si ritiene pertanto che la storia del territorio debba essere letta nella sua complessità ambientale, evidenziando la connessione degli eventi locali con la realtà territoriale. Esiste, infatti, una stretta relazione fra gli avvenimenti collettivi di carattere socio-politico-culturale e le trasformazioni locali e puntuali su ogni singolo ambito territoriale e centro urbano. Pertanto si propone di leggere gli avvenimenti che hanno interessato i centri urbani e le trasformazioni che hanno influenzato il contesto contemporaneo per 'fasi storiche'.

Uno degli strumenti di conoscenza del territorio è la rappresentazione attraverso cui poter criticamente analizzare e interpretare gli avvenimenti storici, architettonici e urbani che hanno dato vita a nuovi scenari paesaggistici e ambientali. Attraverso un'analisi delle fonti scritte, iconografiche e fotografiche e

attraverso un'indagine sul campo si propone di ripercorrere le tappe principali della storia del territorio dei centri storici dei Monti Lepini evidenziata attraverso i segni architettonici, urbani ed artistici ancora visibili (SIUSA, 2017).

3. La rappresentazione dei luoghi. Alcuni esempi di iconografia e cartografia storica

Grazie allo studio della cartografia storica è possibile risalire all'immagine dei luoghi e al tempo stesso identificare le trasformazioni che nel tempo si sono verificate. Nella prospettiva a volo di uccello, di Anonimo, datata tra il 1521 e il 1542, la città di Cori viene rappresentata divisa da una fascia di orti in una parte 'a monte' e una 'a valle', suddivisione che la città ha mantenuto fino ad oggi. Sempre della città di Cori, nella rappresentazione di Domenico Cavallina del 1758 si distinguono nel tessuto edilizio della città, sovrastato dall'immagine di Sant' Oliva raffigurata in ginocchio, i principali palazzi nobiliari, la porta Romana e un tratto di cinta muraria.

Nella tela di Benozzo Gozzolo, situata nella chiesa di S. Maria dell'Assunta a Sermoneta, ritroviamo, infine, una particolare rappresentazione di Sermoneta costituita da un modello della città appoggiato nel grembo della Madonna degli Angeli (Fig. 2).

I primi artisti che hanno dedicato un'attenzione particolare alla rappresentazione del paesaggio, della vita, dell'ambiente e dei costumi della gente che viveva nel territorio pontino-lepino, risalgono principalmente alla seconda metà del Settecento e all'Ottocento e sono stati in prevalenza viaggiatori stranieri e italiani (MARTONE, 2016).

Nei dipinti di Carlo Coleman vengono ritratte scene della vita quotidiana che si svolgevano nella palude sullo sfondo dei Monti Lepini.

Fig. 2 - *Veduta di Cori a volo d'uccello*, Anonimo, 1521-1542 (PALOMBI, 2013); *Vera effiges S. Olivae nobilis Anaginae Virginis primariae Protectricis Civitatis Corae*, Domenico Cavallina, 1758 (PALOMBI, 2013); *Madonna degli*

Angeli, Benozzo Gozzolo, in S. Maria dell'Assunta a Sermoneta (SPICCIA, 2008)

È il caso dello *Spurgo del canale* del 1849, dove si individua l'altura su cui sorge Sermoneta, mentre in primo piano sono raffigurati alcuni bufali che, vigilati da due mandriani a cavallo, denominati dalle genti della palude 'butteri', e guidati da uomini in battello, attraversano un canale eseguendone la pulitura (MAMMUCCARI, TRASTULLI, 1981).

Nella litografia *Norma nelle vicinanze delle paludi Pontine* del 1841 Edward Lear ritrae il costone roccioso su cui sorge Norma e ai suoi piedi la pianura attraversata da numerosi corsi d'acqua e ricoperta da un'intensa vegetazione.

Ripresa dall'altura del convento di San Francesco è la cittadina di *Sermoneta* nella litografia del 1837 il cui realismo di Edward Lear si esprime nel disegno del paesaggio circostante (Fig. 3) che si spinge fino al laghetto di Ninfa e al profilo dei Colli Albani.

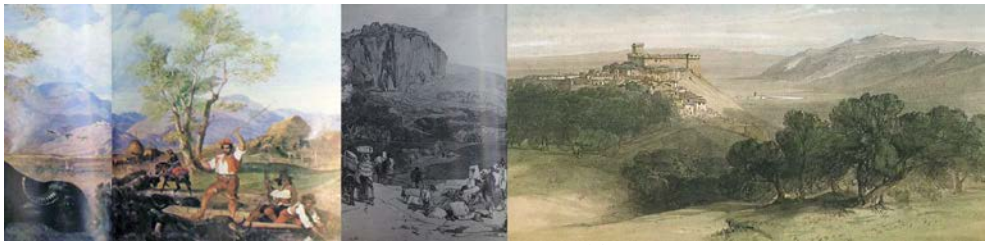

Fig. 3 - *Spurgo del canale*, Carlo Coleman, 1849 (MAMMUCCARI, TRASTULLI 1981); *Norma nelle vicinanze delle paludi Pontine,* Edward Lear, 1841. (MAMMUCCARI, TRASTULLI, 1981); *Sermoneta*, Edward Lear, 1837 (ca) (PALOMBI, 2013)

Di inestimabile valore artistico e documentale per le informazioni che si possono trarre relative alla storia del territorio è il materiale costituito da piante e vedute acquarellate del Catasto Alessandrino, costituitosi nel 1660, oggi custodito nell'Archivio di Stato Capitolino. Nella figura 4 si riporta il tratto in cui

Fig. 4 - *Catasto Alessandrino.* Da sinistra sono rappresentati i paesi di Rocca Massima, Cori, Norma, Sermoneta, Bassiano e Sezze (da: ARCHIVIO DI STATO DI ROMA, CATASTO ALESSANDRINO, 2017)

sono rappresentati, in una vista unitaria pseudo prospettica che oggi potremmo associare alle viste panoramiche, i paesi che sorgono lungo la strada fuori Porta S. Giovanni di Roma verso Marino, Velletri, Sermoneta sino alle Case Nove (Fig. 4).

Conservato nella biblioteca Vaticana è un disegno acquarellato diviso in tre fogli eseguito da Anonimo nel 1701 raffigurante la *Bonifica delle Paludi Pontine*, con riferimento al progetto riportato nella pianta del Mayer del 1677.

L'orografia è schematica mentre approfondita è l'idrografia. Lungo la costa sono riportati i laghi, le torri e le case dei pescatori. Inoltre, tutto il territorio è diviso in campi e tenute di cui è riportata la proprietà (Fig. 5).

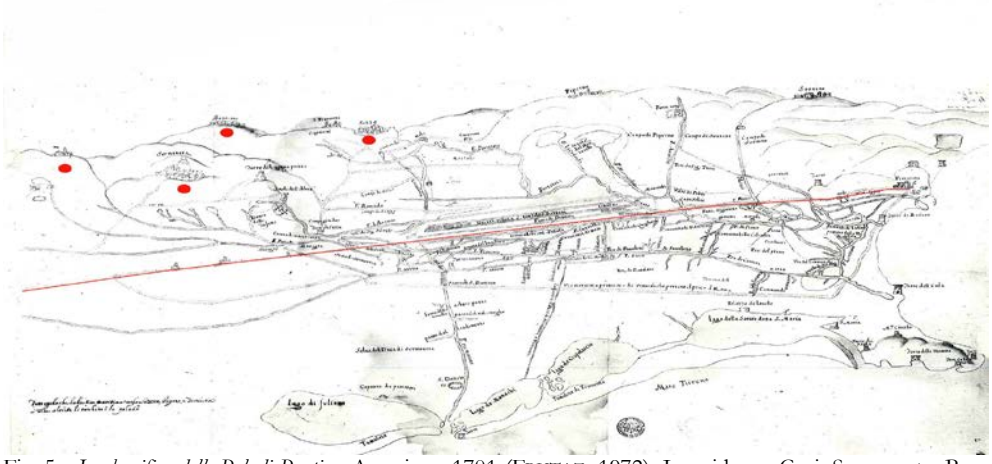

Fig. 5 - *La bonifica delle Paludi Pontine*, Anonimo, 1701 (FRUTAZ ,1972). In evidenza Cori, Sermoneta, Bassiano, Sezze e la via Appia

Con il Catasto Gregoriano, eseguito tra il 1816 e il 1822, si assiste ad un'innovazione nell'ambito della rappresentazione urbana. Viene utilizzata una scala grafica di maggior dettaglio che consente una più evidente differenziazione tra il tessuto edilizio e gli spazi aperti.

L'archivio di Stato di Latina conserva una copia delle piante catastali dei paesi del territorio lepino.

Partendo dallo studio delle mappe gregoriane e attraverso un confronto con le planimetrie della Carta Tecnica Regionale del Lazio (REGIONE LAZIO, 2017), è stato possibile risalire all'identificazione dei nuclei originari dei centri storici lepini per una lettura critica del tessuto edilizio (Fig. 6).

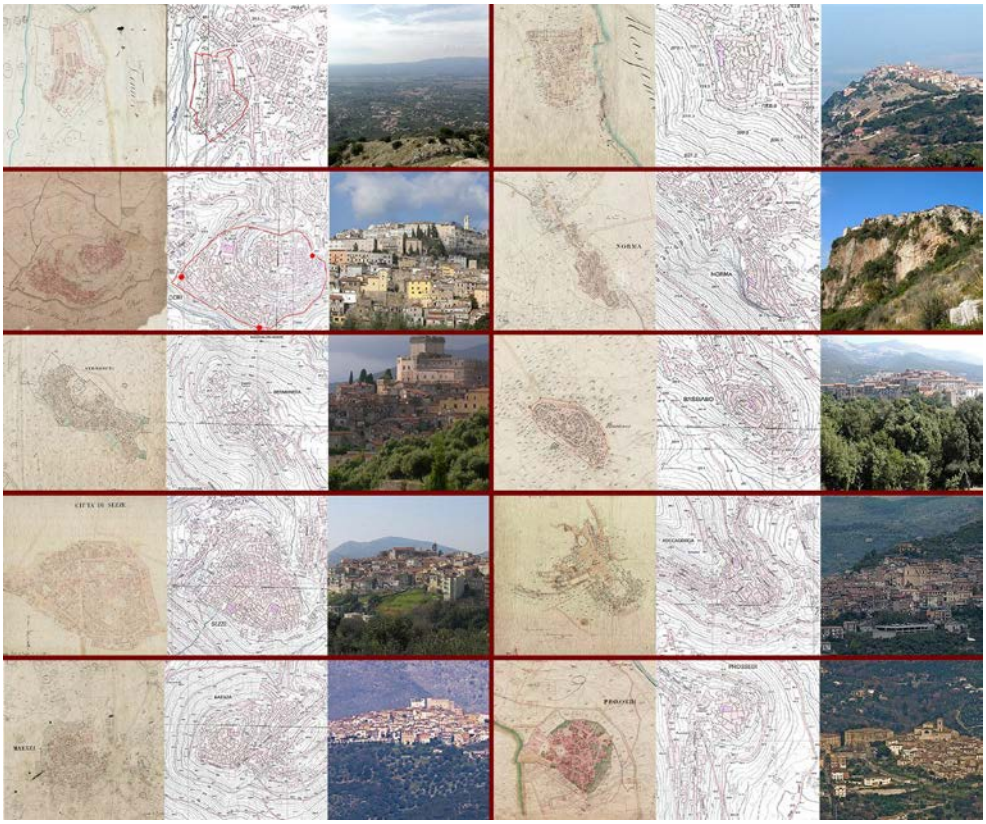

Fig. 6 - Giulianello e i centri abitati del versante pontino dei monti Lepini. In alto, da sinistra: Giulianello, Rocca Massima, Cori, Norma, Sermoneta, Bassiano, Sezze, Roccagorga, Maenza e Prossedi. Per ogni comune è stata riportata la mappa del Catasto Gregoriano, una planimetria attuale tratta della Carta Tecnica Regionale del Lazio e una veduta tratta da GOOGLE IMAGE

4. Verso una documentazione del patrimonio dei centri storici

Sulla base di tali premesse si propone un breve e sintetico excursus storico-documentale dei centri storici del territorio del versante tirrenico dei Monti Lepini, mettendo in evidenza le principali fasi storiche che hanno influenzato l'aspetto architettonico e urbanistico e contribuito a delineare un caratteristico paesaggio culturale lepino[1].

[1] Si rimanda per un approfondimento alla bibliografia di riferimento.

4.1 I primi disegni rupestri e le mura megalitiche di antichi abitati

Numerosi sono i segni di una vita preistorica[2] e protostorica rinvenuti lungo le pendici dei Monti Lepini. Varie stazioni sono state scoperte nell'area di Prossedi e nella Valle dell'Amaseno, ma soprattutto è nell'area di Sezze che sono state ritrovate le testimonianze più consistenti come nella Grotta di Arnalo dei Bufali e nel Riparo Roberto dove sono stati riportati alla luce disegni rupestri risalenti rispettivamente al periodo del Mesolitico e del Neolitico (MARTONE, 2012).

Possenti mura di difesa, di perimetrazione e di contenimento, costituiti da una serie di muraglioni a secco furono costruiti con la formazione dei primi abitati tra i secoli VIII-VII a.C. nel *Latium vetus*, a testimonianza di una nascente civiltà urbana arcaica della regione. Resti di cinte murarie sono ancora visibili presso Sermoneta, a Norba e nel tessuto edilizio di Cori e Sezze.

4.2 La Tribus ufentina

Con la fine del dominio dei Volsci, la Pianura Pontina cadde in un forte stato di abbandono, perdendo la manutenzione idraulica costantemente garantita dagli esperti Volsci. Sede di insediamento romano si presume sia stato il Monte Massimo, da cui era possibile controllare i territori della pianura, dei Colli Albani, della Valle del Sacco e i sistemi viari sottostanti. Sulla sua cima sorse l'insediamento di Rocca Massima, località in cui il Nibby individua l'antica *Àrx Carventana* (NIBBY, 1837).

Le colonie latine di *Cori*, *Norba*, e *Setia*, divenute romane, rientrarono nella *Tribus ufentina*[3] insieme ai territori di *Privernum, Anxur* e *Circeii*. Di origini preromane, *Cori* già alla fine del VI secolo a. C. presenta una struttura urbana costituita da mura e terrazzamenti in opera poligonale ed importanti aree dedicate a santuari. All'interno del centro storico, ancora oggi si conservano parti superstiti di alcuni monumenti romani come il pronao del Tempio detto di Ercole e le colonne del Tempio di Castore e Polluce (Fig. 7). Dell'antico centro, *Norma* conserva una vasta area archeologica racchiusa da mura poligonali, costruite con grandi blocchi di pietra calcarea posti a secco, che servivano anche per superare il dislivello della collina su cui sorgeva la città, formando dei terrazzamenti tuttora visibili nel paesaggio alle pendici dei Lepini (Fig. 8).

[2] Come è noto circa tre milioni di anni fa l'attuale Pianura Pontina era un golfo, il Promontorio del Circeo un'isola e i Monti Lepini delle terrazze sul mare. Il territorio si trasformò in pianura nell'era in cui il Mare Tirreniano ritirandosi lasciò emergere alcuni strati della costa terrestre che portarono alla formazione di una pianura di natura paludosa caratterizzata dalla presenza di due dune l'una lungo l'attuale corso del Sisto, l'altra lungo il litorale.

[3] Ufente, deriva dal nome del fiume e rappresenta il comandante degli Equi, uno dei nemici di Enea giunto nel Lazio, dopo la distruzione di Troia (citato da Virgilio nell' Eneide).

Posta su un'altura isolata delle ultime propaggini dei Monti Lepini, *Sezze*, dall'antico nome di *Setia*, ebbe per Roma un importante ruolo strategico come centro latino nel territorio dei Volsci. La città, cinta da mura, presentava nella parte più alta del paese l'acropoli mentre nella parte sottostante si sviluppava l'abitato contraddistinto da un impianto stradale disposto con arterie concentriche.

Durante l'età imperiale la città visse un periodo di tranquillità e benessere divenendo famosa per le sue ville e per la produzione di un vino ben apprezzato dai Romani. Lungo la strada per Latina Scalo si conservano i resti di un ponte romano del II secolo a.C. utilizzato per il superamento di alcuni fossi e canali, i cosiddetti *Archi di S. Lidano*, mentre in località *Le Grotte*, sono ancora visibili i resti di una antica villa romana.

Sul versante occidentale del colle su cui sorge Sezze si distingue, anche se in stato di abbandono, il tracciato dell'antica via romana *Setina*, in uso fino alla fine dell'Ottocento.

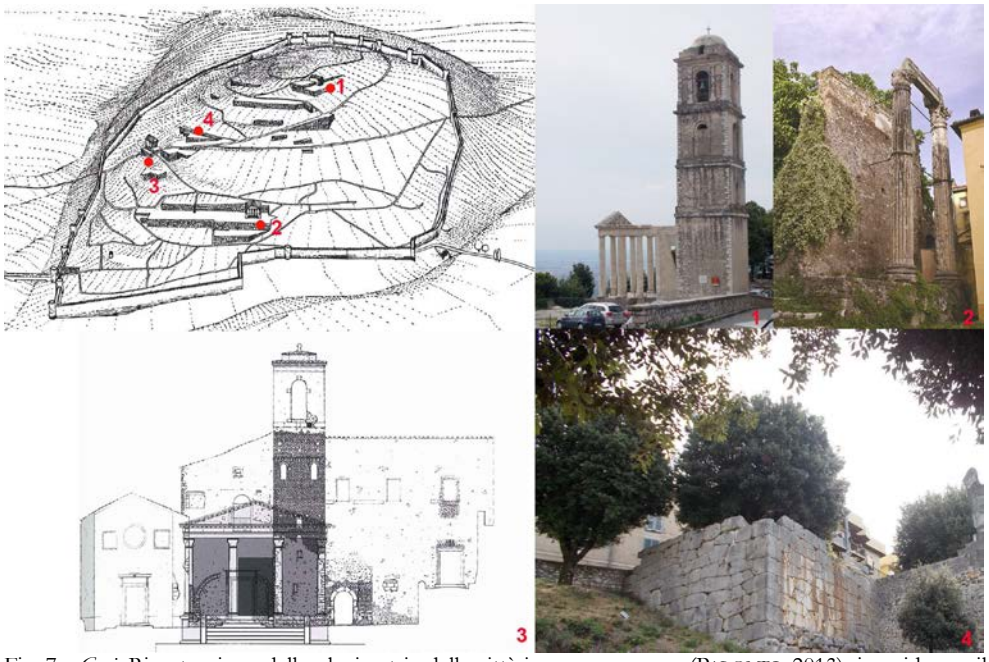

Fig. 7 - *Cori*. Ricostruzione della planimetria della città in epoca romana (PALOMBI, 2013), in evidenza: il Tempio detto di Ercole (foto 1, a cura dell'autore), Tempio di Castore e Polluce (foto 2, PALOMBI, 2013), Tempio romano tetrastilo su cui è stato costruito il complesso monastico di S. Oliva (disegno di rilievo 3, PALOMBI, 2013), mura megalitiche (foto 4, a cura dell'autore)

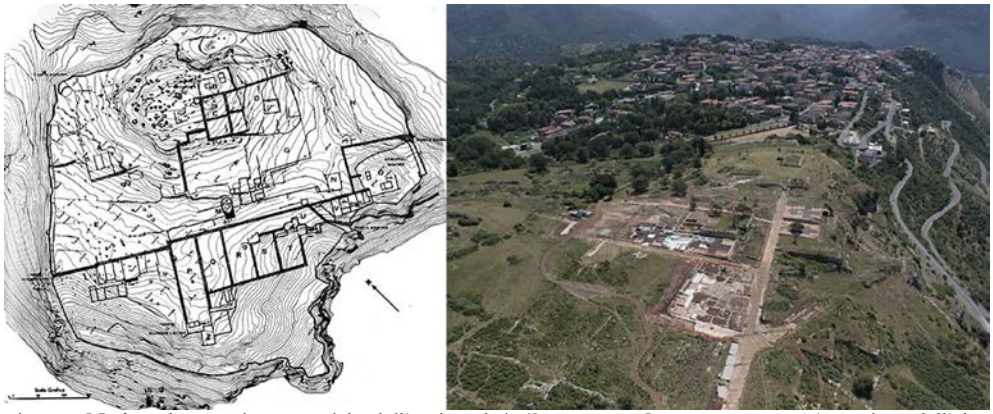

Fig. 8 - *Norba*. Ricostruzione parziale dell'antica città (SCHMIEDT, CASTAGNOLI, 1957). Veduta dall'alto (Fonte: AEROCLUB NORMA. SCUOLA DI PARAPENDIO)

Muri di terrazzamento, torri di difesa in opera poligonale, monumenti funerari e chiesette campestri come la Madonna dell'Appoggio e quella della Pace (QUILICI, QUILICI GIGLI, 1997), ancora presenti lungo il percorso, rappresentano un'importante testimonianza di questa antica via (Fig. 9).

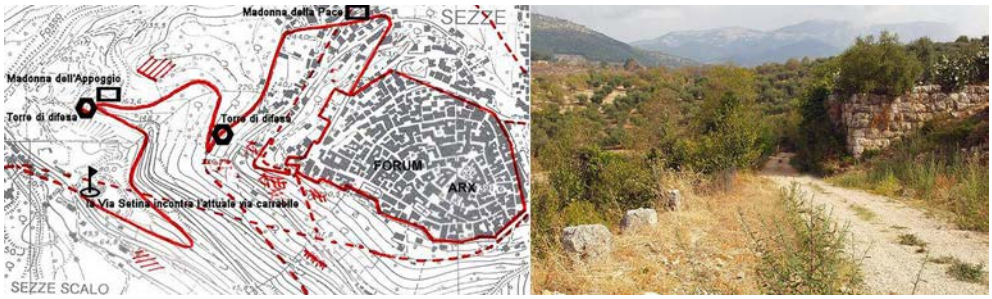

Fig. 9 - La via Setina nel tratto in prossimità di Sezze in una ricostruzione sulla planimetria della Carta Tecnica Regionale (ROMANO, 2017). Veduta dell'antico percorso in cui sono visibili sulla sinistra i paracarri, mentre a destra i resti di una torre di difesa (ROMANO, 2017)

4.3 I primi abitati fortificati tra il IX e il XV secolo

In relazione al caratteristico aspetto che l'organismo territoriale lepino presentava, in quanto offriva luoghi adatti ad essere abitati, coltivati e nello stesso tempo ad essere difesi, sorsero tra il IX e il XIV secolo i primi nuclei abitativi montani. Arroccati su piccole alture con il ruolo di importanti 'avamposti' lungo le vie di collegamento da Roma verso il sud, molti di questi piccoli centri conservano una struttura urbanistica difensiva con il castello e la cinta muraria che ne garantivano la protezione (Fig. 10).

Nella parte più alta del versante occidentale dei Lepini, dominante la sottostante sella con i Colli Albani, sorse nel VII secolo ad un'altezza di 746 m slm

Rocca Massima sulle rovine di *Carventum* (cfr. 4.2) in cui gli Annibaldi fecero costruire la rocca che prese il nome dal monte Massimo (PROLOCO ROCCA MASSIMA, 2017). Il tessuto urbano esprime ancora l'aspetto medievale con stradine strette e palazzi addossati 'a difesa'. Il paese di Rocca Massima formò un unico feudo con la sottostante *Giulianello*, il cui castello, venduto alla famiglia Conti nel XIII secolo e ridotto a tenuta nella seconda metà del 1400 in seguito a lotte fratricide, si conserva ancora nel tessuto del centro storico, circondato da una cinta muraria contraddistinta da due porte (MARCHETTI, 1987).

Fig. 10 - Da sinistra a destra: Castelli/Palazzi di Giulianello, Rocca Massima, Bassiano (da: GOOGLE IMAGE), Sermoneta, Maenza e Prossedi. *(Foto a cura dell'autore)*

A differenza degli altri centri il *Castrum* di *Cori* viene dichiarato da Gregorio IX nel 1234 feudo inalienabile della Chiesa con lo scopo di mantenere il controllo strategico sul territorio. In seguito al trasferimento del papato ad Avignone, la città di Cori fu posta sotto la protezione di Roma. Alla fine del XV secolo sorse nella parte centrale del paese, tra la città a valle e quella a monte il complesso monastico di S. Oliva, la cui chiesa fu edificata sull'antico Tempio di Giano sul lato opposto dove sorse il palazzo pubblico. Suddivisa in tre navate con colonne di origine romana, ad essa si affiancò la Cappella del Crocifisso o di S. Agostino caratterizzata da un ricco apparato decorativo. Fuori Porta Romana, fu edificato l'oratorio quattrocentesco della SS. Annunziata, affrescato al

suo interno. L'impianto della città, divisa in tre rioni che presero i nomi delle tre porte: Signina, Romana e Ninfina, era caratterizzato da strette vie, scale esterne, archi di scarico, spazi coperti che ancora oggi recano all'abitato un suggestivo carattere medievale.

Anche la vicina *Norma,* di antiche origini italiche, fu feudo dei Caetani, sviluppandosi su un'alta roccia che precipita a strapiombo con un salto di diverse decine di metri. Alla fine del XV secolo il paese fu confiscato ai Caetani da papa Alessandro VI per essere donato ai Borgia insieme a Ninfa, Cisterna, Bassiano e Sermoneta per poi ritornare ai Caetani. Dalla via del Corso si raggiunge il Palazzo Baronale e il borgo medievale caratteristico per il sistema a 'groviglio' delle stradine (SOTTORIVA, 1977).

Diversa la posizione geografica di *Sermoneta* che, risultando molto esposta verso la pianura, richiese una massiccia fortificazione per proteggere l'area abitata. Il primo nucleo si costituisce nel XII secolo ad opera degli Annibaldi, famiglia che si interessò della realizzazione di una prima cinta muraria con la torre del 'Maschio', inglobata successivamente nel castello; la città fu poi acquistata nel 1297 da Bonifacio VIII Caetani insieme alle località vicine di San Donato e Bassiano. Del XIII secolo è la Collegiata della Assunta in forme romanico-gotiche, in seguito rimaneggiate. Preceduta da un atrio, la cattedrale presenta sul portale d'ingresso una lunetta affrescata e lateralmente un alto campanile a cinque piani di bifore. All'interno del duomo, nel transetto si conserva un oleario rinascimentale, racchiuso in un'elegante edicola a bassorilievo (Fig. 11).

Fig. 11 - Da sinistra: Chiesa di S. Giovanni Battista, Giulianello; olearia in marmo nella Cattedrale Santa Maria Assunta, Sermoneta; cappella della SS. Annunziata con affreschi del XIV secolo, Cori (PALOMBI, 2013); portale con fregi, Rocca Massima *(Foto a cura dell'autore)*

Su uno sperone roccioso in una valle interna dei monti Lepini, alle pendici del Semprevisa, nasce nel X secolo il *castrum* di *Bassiano,* rifugio di pastori e agricoltori. Al XIII secolo risale la costruzione, eseguita dai Caetani, delle mura

castellate, composte da nove torri e da tre porte. All'interno della cinta muraria si conserva un agglomerato urbano tipico medievale costituito da un tessuto edilizio molto denso, ricco di scalette, rampe, vicoli e passaggi coperti che culminano verso il punto più alto in cui si apre la piazza della Torre Civica con la Chiesa di Sant'Erasmo.

Arroccato su un'altura isolata alle pendici dei Lepini e sulle vestigie dell'antica città di *Setia* si sviluppò tra il X e XI secolo la città di *Sezze* con un impianto urbano a strade concentriche, simile a molti centri di collina. Della Sezze medievale accanto a numerose torri e resti di altre fortificazioni (TOURING CLUB ITALIA, 2007) si conserva la chiesa gotica di S. Bartolomeo del 1136, detta anche di S. Antonio, restaurata nel 1705 mantenendo l'originale portale e il tetto a capanna. La città ebbe alle proprie dipendenze i castelli di Acquapuzza, Tivera, Petreta e Zenneto distrutti alla fine del XV secolo (ARCHIVIO CAPITOLARE DELLA CATTEDRALE, 2017).

In posizione difensiva sorsero successivamente anche *Roccagorga* e *Maenza* poste sulle estremità di contrafforti, a difesa delle direttrici montane di penetrazione verso la montagna.

Rocca di Gorga si sviluppò intorno al 1200 divenendo, per la sua posizione strategica, possedimento della famiglia Conti di Ceccano. Nel punto più alto fu costruita una possente torre quadrangolare visibile dai paesi circostanti, inglobata poi nel palazzo baronale (COMUNE DI ROCCAGORGA, 2017).

Nel XIII secolo si consolidò il centro abitato di *Maenza,* luogo in cui tra il XIV e il XI secolo a. C si stanziarono alcune civiltà pastorali. Il paese conserva la sua originaria struttura urbanistica con suggestive strade e piazze e con un'elegante loggia-mercato. La torre di avvistamento, costruita tra il 1100 e il 1200, fu ampliata e trasformata in castello dalla famiglia Conti di Ceccano. La città fu protagonista, nell'ambito delle varie contese territoriali, di episodi di continua rivalità tra le famiglie degli Orsini e dei Colonna. Al XIII secolo risale l'antica Chiesa di S. Giacomo ora sconsacrata. Nel 1304 Maenza ritornò ai Conti di Ceccano che si interessarono al rinnovamento del castello e alla costruzione di una nuova cinta muraria. Dal 1346 la città passò ai Caetani e ad altre famiglie che si disinteressarono della città lasciandola decadere (CAETANI, 1927). In sommità di un colle di origine calcarea chiude la sequenza dei centri dei Monti Lepini l'abitato di *Prossedi*. Comune di aspetto medioevale, Prossedi sorge, circondato da mura, in posizione panoramica sulla valle del Fiume Amaseno. Nella Piazza Umberto I prospetta il castello a pianta quadrata con bastioni angolari, mentre tra le stradine del centro storico, lungo Via Roma, preceduta da una scalinata in pietra sorge la chiesa romanica di S. Nicola che presenta in facciata un bel portale con rosone soprastante.

4.4 Famiglie e Casati nel territorio lepino dal XVI al XVIII

Lo sviluppo dei centri abitati sulle colline dei Monti Lepini si rafforzò nel momento in cui i piccoli paesi, situati a poca distanza sia da Roma che da Napoli, rientrarono negli interessi del papato e delle grandi famiglie che, proprietarie di estesi feudi, garantirono all'interno dei propri territori difesa in cambio di obbedienza. Molti centri dei Monti Lepini vissero un periodo di rinascita tra i secoli XVI e XVII, nonostante le pestilenze e le carestie frequenti nella zona. Accanto a famiglie nobiliari emersero nel territorio anche famiglie appartenenti a classi medie che consolidarono la loro posizione economica attraverso lo sviluppo di colture specializzate come la linocoltura, viticoltura e olivicoltura che risultarono molto redditizie.

Fig. 12 - Vedute lungo le strade di: Giulianello, Rocca Massima, Cori, Norma, Sermoneta, Bassiano *(da: GOOGLE IMAGE),* Sezze (da: *GOOGLE IMAGE*), Roccagorga, Maenza e Prossedi *(Foto a cura dell'autore)*

Le famiglie che governarono nei centri lepini divennero i principali committenti di opere artistiche e architettoniche, come la costruzione di cappelle all'interno di ambienti ecclesiastici, l'edificazione di nuove chiese e palazzi, favorendo la commissione anche di pregevoli dipinti.

Purtroppo le comunità dei Monti Lepini vissero anche periodi di lotte dirette e trasversali per problemi di confini, diritti di transito, contese territoriali, gestione delle peschiere di pianura e anche offese personali.

La carta di Filippo Ameti del 1693 nei fogli III e IV oltre a rappresentare le principali strade di collegamento allora in uso del Lazio meridionale riporta insieme alle località il nome dei proprietari dei feudi, delle tenute e dei casali. Si possono infatti leggere le famiglie presenti sul territorio: Giulianello e Rocca Massima dei *Salviati*, Cori del *Popolo Romano*, Norma dei *Borghese*, Sermoneta e Bassiano dei *Caetani*, Roccagorga dei *Ginnetti*, Maenza e Prossedi dei *Panfiliy* (Fig. 13).

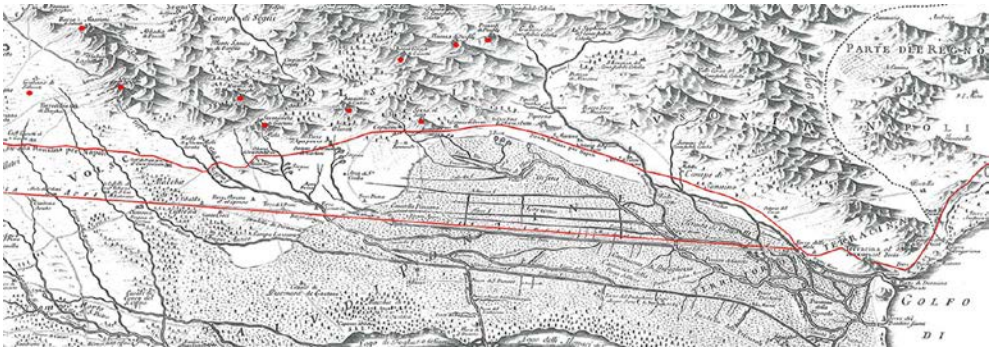

Fig. 13 - *Il Lazio con le sue più cospicue strade antiche e moderne e principali Casali e Tenute di esso*, Filippo Ameti, 1693 (FRUTAZ, 1972), stralcio. In evidenza la via Pedemontana indicata con il nome di *Strada Romana per Napoli* e la via Appia

4.5 Dopo l'abolizione della feudalità nel XIX secolo

Nell'Ottocento, in seguito a lotte interne fra i signorotti locali per la suddivisione delle terre, alcuni paesi andarono in rovina e l'abbandono dei terreni rimasti incolti per tanto tempo e la non canalizzazione delle acque contribuirono al diffondersi della malaria.

Alcuni eventi storici importanti determinarono trasformazioni notevoli nella vita sociale e nell'amministrazione politico economica della maggior parte dei centri. Nel 1806 viene proclamata l'abolizione del feudo nell'area meridionale e nel 1861 viene istituito il Consorzio di Bonifica Pontina ad opera di Pio IX, primo tentativo di recuperare all'agricoltura un vasto territorio pianeggiante. In seguito alla costruzione delle nuove vie di collegamento e della nuova linea ferroviaria di Roma-Velletri e successivamente Velletri-Terracina alcuni paesi ebbero una propria stazione e si dotarono di un impianto di illuminazione stradale.

4.6 Dai centri collinari dei Lepini alla Pianura Pontina bonificata nel XX secolo

L'importanza strategica della fascia pedemontana e dei suoi centri abitati si modificò radicalmente in seguito agli interventi sul territorio pontino della bonifica del Novecento. Fino ad allora gli interventi di prosciugamento delle acque della palude furono quasi sempre boicottati dalle famiglie che governavano nei centri lepini e nello stesso tempo erano proprietarie in pianura di peschiere e di terreni. La bonifica integrale del Novecento previde interventi di tipo idraulico, sanitario e agrario e alla sua realizzazione furono impegnati i coloni provenienti dalle terre dell'Italia settentrionale. Si arrivò al prosciugamento della palude, ad una suddivisione in poderi dei terreni e alla realizzazione di nuovi borghi e città (ALMAGIÀ, 1935). La bonifica spostò verso la pianura gli

interessi economici, politici e sociali e le funzioni ricoperte fino ad allora dai paesi della fascia pedemontana. Si determinò, così, un progressivo impoverimento degli antichi borghi e con esso anche un depauperamento del tessuto urbano storico in parte anche sopraffatto dall'edilizia contemporanea che, in modo talvolta anche devastante, si è imposta sul territorio.

5. Conclusioni

Le cause per cui i centri storici del versante pontino dei Lepini rischiano di scomparire o di alterare le proprie caratteristiche ambientali sono molteplici e tra queste va considerata anche la 'non conoscenza' del patrimonio culturale esistente in questi luoghi. Pur possedendo tesori di arte, di architettura, di archeologia di notevole interesse, i paesi dei Monti Lepini non rappresentano attualmente una vera e propria attrazione sul territorio, non sono pronti a diventare mete di un turismo culturale orientato oggi su siti più conosciuti del Lazio meridionale; così come sono ancora tanti i giovani che scelgono altri centri urbani per soddisfare le proprie esigenze lavorative e culturali.

Una conoscenza maggiore del patrimonio culturale che essi esprimono da parte anche degli stessi abitanti, aiuterebbe a sviluppare operazioni di salvaguardia e di valorizzazione per considerare le risorse esistenti fonti di sviluppo e il territorio stesso *bene comune* ed *opera d'arte collettiva*.

Un monitoraggio del tessuto edilizio dei centri e lungo le strade di maggiore percorrenza eseguito anche attraverso rilievi con tecniche avanzate 3d, fotomodellazione e videoclip può contribuire ad individuare le persistenze storiche, i riusi, le demolizioni e le nuove costruzioni. Documentare il tessuto edilizio e nel particolare le principali tipologie costruttive esistenti, i materiali da costruzione, le coperture, le pavimentazioni stradali e le diverse forme di arredo urbano, può essere finalizzato a rappresentare l'immagine dei luoghi e al tempo stesso collazionare le diverse realtà che il territorio offre. In questa fase è importante il coinvolgimento dei principali attori sul territorio, ossia degli abitanti e delle amministrazioni locali, attraverso la realizzazione di percorsi di conoscenza diffusa e immediata delle ricchezze culturali locali affinché possano esse stesse diventare da traino per un'economia basata anche sul turismo culturale attraverso cui superare fenomeni di 'marginalizzazione' topografica e culturale.

La videocomunicazione, già sperimentata sul Comune di Prossedi (MARTONE, PAPA, 2015), può essere, ad esempio, considerata uno strumento per una diffusione immediata della conoscenza di un patrimonio architettonico, storico, ambientale e paesaggistico facilitando la consapevolezza dell'esistenza

di beni culturali che per essere conservati devono essere prima conosciuti. Da un'indagine sul posto si è potuto constatare la presenza, in alcuni centri storici, di elementi costruttivi o decorativi estranei alla cultura dei luoghi, inseriti nel contesto urbano in seguito a ristrutturazioni edilizie da parte dei privati. In alcuni centri è evidente l'introduzione di intonaco colorato su cortine edilizie costruite in origine con muratura a vista, tipo 'a tufelle' o 'a bozze di calcare'; all'interno di facciate di palazzi storici si nota l'inserimento di sistemi di infissi anodizzati, di saracinesche metalliche o di pensiline in plexiglass (Fig. 14).

Fig. 14 - Alcune immagini dei centri di Rocca Massima, Cori, Norma, Sezze *(da: GOOGLE IMAGE)* e Prossedi, in cui sono evidenziati alcuni elementi e materiali contrastanti con l'ambiente urbano storico (*Foto ed elaborazioni a cura dell'autore)*

Evidenziare questi episodi, che vanno tra lo spontaneo e il necessario, significa denunciare una realtà che tende a cancellare non solo i segni ma anche il valore di un patrimonio che testimonia la cultura di un luogo. In alcuni paesi la degradazione è molto evidente, in altri si può notare, invece, una maggiore sensibilità a salvaguardare il tessuto storico e le tradizioni dei luoghi. Si ritiene, quindi, fondamentale il ruolo della documentazione per una conoscenza critica dello stato di fatto su cui poter elaborare progetti di valorizzazione e di tutela considerando i centri storici una risorsa per il futuro.

Indagini su come avviare processi di riqualificazione urbana potrebbero essere condotte coinvolgendo in prima persona gli abitanti del luogo affinché gli strumenti dei concorsi di idee o anche la programmazione di piani particolareggiati o del colore, ad esempio, possano essere espressione di esigenze collettive e non l'idea del singolo o di alcuni tecnici. Anche su questi temi si confronta il gruppo di ricerca pontino, la cui presenza come Nodo nella S.d.T e

come corpo docente nella sede di Latina della Facoltà di Ingegneria Civile e Industriale della Sapienza costituisce un punto di forza per diffondere attraverso programmi di ricerca e didattici nuove strategie di sviluppo locale indirizzate ad un ridisegno e ad un riequilibrio dei rapporti fra città e territorio.

Riferimenti bibliografici

ALMAGIÀ R. (1935), "La regione pontina nei suoi aspetti geografici. La bonifica delle Paludi Pontine", in: *Istituto di Studi Romani. La Bonifica delle Paludi Pontine*, Leonardo, Roma.

ARCHIVIO CAPITOLARE DELLA CATTEDRALE (2017), <http://www.cflr.beniculturali.it> (ultima visita: maggio 2017).

ARCHIVIO DI STATO DI ROMA, CATASTO ALESSANDRINO (2017), <http://www.archiviosezze.it> (ultima visita: maggio 2017).

CAETANI G. (1927), *Domus Caietana, Medioevo,* Prima Parte, Documenti dell'Archivio Caetani.

CASTAGNOLI F., SCHMIEDT G. (1957), "L'antica città di Norba. Documentazione aereofotogrammetica", in: *L'Universo*, n. 1, anno 37, gennaio-febbraio 1957, rivista di Geografia, Istituto Geografico Militare, pp. 125-148, Firenze.

COMUNE DI ROCCAGORGA (2017), <http://comuneroccagorga.it/index.php/monumemti/> (ultima visita: maggio 2017).

FRUTAZ, A. P. (1972 – a cura di), *Le carte del Lazio*, Arti Grafiche Luigi Salomone, Roma.

MAMMUCCARI R. TRASTULLI P.E. (1981), *Immagini delle Paludi Pontine*, Editrice Vela, Velletri.

MARCHETTI R. (1987 - a cura di), *Giuliano/Silvestro Radicchi*, Arianagraf, Lariano.

MARTONE M. (2012), *Segni e disegni dell'Agro Pontino. Architettura, città, territorio*, Collana DGA: Documenti grafici di Architettura e di Ambiente, 2, Aracne Editrice S. r. l., Roma.

MARTONE M. (2016), "Le trasformazioni territoriali nell'area pontina nel XX secolo. La riconoscibilità storica dei luoghi nella iconografia tra Ottocento e Novecento: alcuni esempi", *Eikonocity*, 2016, anno I, n. 1, pp. 133-145.

MARTONE M., PAPA F. (2015), "L'immagine in movimento per conoscere e documentare l'architettura dei centri storici minori. Alcuni esempi nella valle dell'Amaseno", in: CARBONARA G., CENTOFANTI M., MINGICCI R., *Disegno per il restauro oltre il rilievo, Disegnare con*, Rivista digitale n. 14 / 2015, Cap. 23, <http://disegnarecon.univaq.it>, pp. 1-11 .

NIBBY, A. (1837), *Analisi storico-topografico-antiquaria della carta de' dintorni di Roma*, Tipografia delle belle arti, Roma.

PALLOTTINI M. (1976), *Il Territorio pontino: elementi di analisi storiografica dalle origini alla bonifica integrale*, Edizione Bulzoni, Roma.

PALOMBI D. (2013 - a cura di), *Cori, la città come museo*, Teameia Cultura, Cori.

PROLOCO ROCCA MASSIMA (2017), <http://www.prolocoroccamassima.it/il-borgo-di-rocca-massima/> (ultima visita: Maggio 2017).

QUILICI L., QUILICI GIGLI S. (1997 – a cura di), *Strade romane, ponti e viadotti*, L'Erma di Bretschneider, Roma.

REGIONE LAZIO (2017), <http://cartografia.regione.lazio.it/> (ultima visita: maggio 2017).

ROMANO I. (2017), *Riqualificazione della via Setina,* in: <http://www.setino.it/studio-02.htm>(ultima visita: maggio 2017).

SIUSA, SISTEMA INFORMATIVO UNIFICATO PER LE SOPRINTENDENZE ARCHIVISTICHE (2017), <http://www.siusaarchivi.beniculturali.it; www.italiavirtualtour.it> (ultima visita: maggio

2017).
SOTTORIVA P.L. (1977), *Centri antichi e nuovi della provincia di Latina*, Cipes, Latina, 2. ed. riv..
SOTTORIVA P.L. (1989 - a cura di), *Lepini, Ausoni, Aurunci: ambiente e centri storici*, De Agostini, Novara.
SPICCIA L. (2008), *Il Castello dei Caetani di Sermoneta. Storia di una Signoria,* Littera Antíqua, 3 ed., Latina.
TOURING CLUB D'ITALIA (2007), *Guida d'Italia. Lazio*, Mondadori, Milano.

Il tram-treno 'ligne de vie' della Bioregione Pontina

Valerio Mazzeschi

Abstract

THE TRAM-TRAIN 'LIGNE DE VIE' OF PONTINA BIOREGION. The new urban areas are very different from the historic cities. They are land settlements that are diffused on vast territories and are characterized by high mobility of inhabitants. In order to contrast the negative externalities caused by the urban sprawl phenomenon, the research has to explore in depth six main themes: infrastructural corridors, urban regeneration and environmental requalification, mechanism of gentification, value capture, partecipation of local community, relation between unconscious and centre-suburbs relationship. Through the detailed study of these themes, the aim will be the redevelop of the bioregional territories crossed by railway system, that assumed a key role for the requalification of the whole area. In this paper, a case study in Pontina Bioregion is described. The work was focused on the project of realisation of a railway line between the cities of Sabaudia, on the Tyrrhenian coast, and Ceccano on the hills of Ausoni mountains. The means of transport chosen was the tram-train for its capacity of work both on urban railway, as a tram, and on railway, as a train. Simultaneously was conducted also an analysis of the different spatial spillover, on the bioregional territory, of railway line construction.

KEYWORDS: T.O.D., infrastructures, sprawl, redevelopment, public participation

1. Introduzione

Il 2008 è stato un anno cruciale in quanto per la prima volta nella storia la popolazione rurale è stata superata da quella urbana. Quest'ultima si concentra in aree che si caratterizzano al loro interno per l'alta mobilità e la frequenza degli spostamenti. Tuttavia la dimensione prevalente dell'abitare contemporaneo non è più riscontabile solo nella città concentrata, ma anche nel territorio agricolo e il loro interagire dà luogo alla forma della regione urbana. Il tessuto residenziale è divenuto sempre più rado diffondendosi su tutto il territorio cir-

costante i centri cittadini, generando il fenomeno dello *sprawl* urbano e accentuando, soprattutto negli ultimi decenni, il consumo di suolo. In molti paesi sviluppati o occidentalizzati, tra cui anche l'Italia, si è assistito nel corso dei decenni ad un progressivo abbandono dell'uso dei trasporti collettivi, in particolar modo quelli su ferro. A tutto ciò si deve aggiungere che la costruzione di linee su ferro risulta particolarmente difficoltosa per diverse cause tra le quali ricordiamo:

- l'alto costo della realizzazione dell'opera;
- gli elevati tempi di realizzazione;
- un tessuto residenziale diffuso che non garantisce un'accessibilità rapida e diretta, in termini di trasporto collettivo, alle stazioni ferroviarie.

Tema del presente contributo[1] è la riqualificazione degli insediamenti diffusi avendo come perno una linea su ferro con le sue relative stazioni viste come nodi principali da cui far scaturire la riqualificazione del territorio interessato. Il sistema di trasporto scelto è il tram-treno, mezzo pressoché inutilizzato in Italia, considerato come l'infrastruttura in grado di riconnettere città e campagna grazie alla sua interoperabilità, ovvero grazie alla sua capacità di viaggiare sia su sedime ferroviario che su sedime tranviario. In un senso più ampio, partendo dall'infrastruttura su ferro si propongono metodi e strumenti per ristrutturare in forma integrata il sistema insediativo nelle sue componenti morfologiche, funzionali, infrastrutturali e trasportistiche, facendo riferimento anche a nuove forme di integrazione tra mobilità collettiva e mobilità individuale consentite dalle nuove tecnologie dell'informazione ed in particolare dalle applicazioni per smartphone.

Importante risulta anche il ruolo della partecipazione delle comunità locali nei processi di realizzazione delle infrastrutture e nella predisposizione di nuove forme di mobilità collettiva, come previsto per le grandi opere dal nuovo codice degli appalti in riferimento all'ormai consolidata fase del *debat public* in Francia. Inoltre, la partecipazione può essere la chiave essenziale per reperire insieme ad opportuni meccanismi di cattura del valore i fondi finanziari per realizzare nuovi sistemi di trasporto su ferro. Nello specifico verranno seguite ed approfondite alcune linee di ricerca che abbracciano diversi settori in modo da utilizzare un approccio alle differenti problematiche che sia il più interdisciplinare possibile.

Il contesto in cui saranno applicate tali linee di ricerca e in cui è calato il caso di studio di una linea ferrotranviaria, è quello della Bioregione Pontina, tema

[1] Il presente contributo è parte integrante del progetto di ricerca che l'autore sta sviluppando nel Corso di Dottorato in Infrastrutture e Trasporti presso il Dipartimento di Ingegneria Civile Edile e Ambientale (DICEA), Università degli Studi "La Sapienza" di Roma.

centrale dell'intera pubblicazione. Nel paragrafo 3 del presente contributo verranno ampiamente descritte le caratteristiche e le problematiche della Bioregione, unitamente alle soluzioni progettuali del caso di studio.

2. Le linee di ricerca

La prima, e sicuramente più importante linea di ricerca è quella dei corridoi infrastrutturali che sono spesso pensati quasi esclusivamente in chiave trasportistica, come l'insieme di infrastrutture di trasporto che collegano due grandi centri. In realtà essi sono contemporaneamente:

- assi infrastrutturali, perché connettono diversi centri situati sul loro percorso;
- assi di sviluppo economico, perché permettono la movimentazione di persone e merci;
- assi di rigenerazione urbana, perché possono costituire le strutture portanti di processi di riqualificazione dei tessuti urbani adiacenti.

Molti autori sono concordi nel vedere le infrastrutture su ferro come assi strutturanti lo sviluppo urbano grazie alla loro capacità di ridisegnare gli spazi della città lungo il proprio percorso. Un esempio significativo è sicuramente il *Five Finger Plan* danese del 1947 che prevedeva lo sviluppo dell'intera area metropolitana di Copenhagen lungo le 5 linee delle ferrovie suburbane.

Oggi, per la riqualificazione degli insediamenti diffusi un possibile corridoio infrastrutturale può essere realizzato tramite la costruzione di una linea ferrotranviaria servita da mezzi di tipo tram-treno. Il sistema tram-treno è un sistema di trasporto che integra tra loro linee ferroviarie e tranvie. Parola chiave del tram-treno è interoperabilità ossia la possibilità del mezzo di poter circolare sia su sedime ferroviario che su quello tranviario (RIZZETTO, 2009). Il riferimento per un siffatto sistema di trasporto è sicuramente la città tedesca di Karlsruhe, primo centro urbano al mondo ad introdurre il tram-treno nel 1992, tanto che in letteratura si parla di un vero e proprio 'modello Karlsruhe' (SPINOSA, 2010).

Pertanto, i corridoi infrastrutturali possono diventare i catalizzatori per la rigenerazione urbana. Attraverso le infrastrutture su ferro si possono ricucire i diversi frammenti urbani che sono sorti attorno alle città, così come si è verificato a partire dagli anni '50 del secolo scorso in Italia. La rigenerazione, in accordo con alcune caratteristiche del *Transit Oriented Development* (T.O.D.), può avvenire attraverso:

- l'elevazione di qualità dell'offerta del trasporto pubblico locale, in particolar modo quello su ferro;
- la crescita urbana nella città cercando di densificare il tessuto urbano, per evitare fenomeni come il consumo di suolo e lo *sprawl* urbano;
- garantire un'edilizia abitativa di qualità.

Le componenti principali del T.O.D. comprendono: l'uso misto del suolo, l'importanza dell'andare a piedi e dell'uso della bicicletta, la prossimità alla stazione della linea su ferro che nel T.O.D. è quantificata idealmente nel raggio di mezzo miglio (610 m) (CERVERO, 2004). Lo scopo principale di tale approccio è quello di addensare gli edifici in prossimità dell'accesso alla linea su ferro, in modo da diminuire il ricorso al mezzo privato.

Punti focali da cui far partire la rigenerazione sono i nodi di scambio, come ad esempio sono le stazioni delle linee su ferro, visti come i centri di attrazione dei quartieri con una doppia funzionalità: la prima è quella di perni per la rigenerazione urbana, la seconda è quella di punti di accesso alla rete dei trasporti. Difatti nel *Transit Oriented Development* la strategia per il governo delle trasformazioni urbane avviene all'interno delle aree di influenza delle stazioni, viste come il luogo dove avviene la possibile fruizione dell'infrastruttura. Le aree intorno alla stazione divengono dal punto di vista urbano appetibili in quanto offrono evidenti vantaggi localizzativi i quali, una volta monetizzati come plusvalore immobiliare, possono essere utilizzati per coprire parte dei costi di realizzazione dell'opera. La stazione è quindi una cerniera tra la rete dei trasporti e lo spazio urbano, in modo molto più articolato e complesso di quanto concerne la sola funzionalità trasportistica.

Un esempio di questo approccio è la *Ørestad Line* di Copenhagen, chiaro esempio di *Transit Oriented Development,* in quanto la costruzione di una linea della metropolitana è stata affiancata dalla realizzazione di un progetto urbanistico.

Per far sì che gli effetti della rigenerazione urbana abbiano dei risvolti postivi, risulta necessario introdurre nei processi di pianificazione la partecipazione delle comunità locali attraverso un approccio di tipo *bottom-up*.

Attraverso gli strumenti della partecipazione è possibile ascoltare diversi pareri e conoscere posizioni in merito ad un ben preciso argomento.

Alcuni svantaggi derivanti dall'introduzione di tali strumenti, possono essere l'allungamento dei tempi in quanto c'è necessità di ascoltare tutti i punti di vista, o almeno i punti di vista degli *stakeholders* interessati, e l'incertezza sugli esiti del processo in quanto non sono così meccanicamente definiti, come invece possono essere le decisioni prese tra pochi attori.

Uno strumento per la partecipazione delle comunità locali è sicuramente il dibattito pubblico in relazione alla costruzione di grandi opere. Nella tabella 1 (Tab. 1) si propone una comparazione tra il *Debat Public* francese introdotto dalla Legge Barnier del 1995 e il Dibattito Pubblico Italiano, introdotto dall'articolo 22 della Legge 50 del 2016, Nuovo codice degli appalti.

Tab. 1 Il Dibattito Pubblico in Francia e in Italia

	Commissione indipendente di gestione del dibattito pubblico	Presentazione pubblica del progetto	Discussione sul territorio	Esito	Opzione Zero
Debat Public (Francia 1995)	✓	✓	✓	Non ha valore giuridico	✓
Dibattito pubblico (Italia 2016)		✓	✓	Non ha valore giuridico	

Dalla tabella (Tab. 1) si notano due differenze derivanti dalla forma attuale dell'articolo 22 del Nuovo Codice degli appalti: la prima, la non definizione nella norma italiana della commissione che gestisce il dibattito pubblico, commissione che in Francia è indipendente, ovvero i componenti non hanno nessun tipo di legame né con l'amministrazione pubblica né con i rappresentanti delle associazione del territorio; la seconda è la non presenza nel caso italiano dell' 'opzione zero', ovvero la possibilità, a valle del processo partecipativo, di non fare l'opera. Tuttavia le modalità di svolgimento del dibattito pubblico in Italia sono ancora suscettibili di modifiche in relazione al decreto attuativo in corso di elaborazione che ne specificherà componenti e procedure.

Risultano interessanti alcune esperienze di 'dibattito pubblico', seppur in assenza di una legislazione nazionale, che sono avvenute sul territorio italiano come nel caso della scelta di un tracciato di circa 20 km dell'autostrada A10 Genova, detto anche 'gronda di Ponente' (BOBBIO, 2010) e nell'applicazione della Legge Regionale della Toscana n. 46 del 2013 "Dibattito pubblico regionale e promozione della partecipazione alla elaborazione delle politiche regionali e locali". In particolare, gli aspetti salienti della norma regionale sono riscontrabili nell'obbligo di dibattito per opere pubbliche che superino i 50 milioni di euro di costo (DE SANTIS, 2013).

La partecipazione delle comunità locali nei processi decisionali è importante anche per comprendere quali siano le relazioni tra immaginario e rapporto centro-periferia. Nell'immaginario comune vivere in periferia significa vivere ai margini della città, margini intesi sia dal punto di vista urbanistico come limite del tessuto edilizio, sia dal punto di vista sociale. Molto spesso, infatti, gli abi-

tanti delle periferie appartengono a ceti i cui redditi sono molto bassi, ceti soggetti ad espulsione per meccanismi di gentrificazione.

La gentrificazione è "il processo attraverso il quale quartieri poveri e operai del centro della città vengono rinnovati da un afflusso di capitale privato e di compratori e affittuari della classe media" (GLASS, 1964, p.18). Il termine deriva da *gentry* che in inglese indica la piccola nobiltà. La gentrificazione è quindi legata in buona parte alla scelta da parte della classe media di investire i propri risparmi nella ristrutturazione di edifici in quartieri degradati posti nei pressi del centro cittadino. Fenomeni associati alla gentrificazione sono:

- il *displacement*, ovvero l'allontanamento dei ceti meno abbienti del quartiere che non riescono a sostenere il tenore e lo stile di vita di molti nuovi abitanti;
- la riqualificazione urbana e architettonica; Sharon Zukin ha individuato la tipologia di abitazione preferita dai *gentrifiers* nel loft (ZUKIN, 1982), spazio ricavato dalla ristrutturazione di vecchi capannoni, residui dell'era fordista delle città americane ed europee;
- l'apertura di punti vendita dei maggiori brand mondiali; alcuni autori (SEMI, 2004; ZUKIN, 1990) sottolineano come in alcuni casi è proprio l'insediamento di alcuni brand di lusso in alcune zone degradate della città a generare poi la gentrificazione del quartiere, fenomeno che prende il nome di *commercial gentrification*.

Sebbene la gentrificazione sia un fenomeno che si sia sviluppato principalmente nei paesi anglosassoni, e soprattutto nelle grandi città come Londra e New York, anche negli altri paesi occidentali si è riscontrata nel corso del tempo la presenza di episodi di riqualificazione di quartieri degradati e del conseguente abbandono da parte dei ceti meno abbienti della zona. In Italia per esempio alcuni episodi di gentrificazione sono riscontrabili nel quartiere milanese di Bicocca e nei quartieri capitolini di Testaccio e Pigneto. Tuttavia i fenomeni di gentrificazione nel nostro paese non sono ancora oggetto di una attenta e approfondita analisi con il rischio di associare i cambiamenti indotti dalle trasformazioni dello spazio urbano a fenomeni di gentrificazione dei quartieri (ANNUNZIATA, 2007).

Punto importante nella ricerca sui meccanismi di gentrificazione è quindi capire dove e perchè si spostano gli abitanti espulsi, abitanti che molto spesso rimangono sconosciuti in quanto, in tali meccanismi, sappiamo tutto di chi arriva nel quartiere, ma nulla di chi è costretto ad abbandonarlo (SEMI, 2004).

Nello specifico si è riscontrato che alcuni fenomeni di gentrificazione sono causati da meccanismi di cattura del valore. La cattura del valore è quel

meccanismo in base al quale le istituzioni pubbliche responsabili dello sviluppo delle infrastrutture di trasporto urbano trasferiscono parte dei benefici economici ottenuti dai proprietari terrieri, dagli sviluppatori, dai proprietari immobiliari e da altri soggetti che traggono un guadagno dalla costruzione dell'infrastruttura alla comunità nel complesso (SUMIRASCHI, 2013, p.17).

Gli strumenti di cattura del valore sono molti poiché dipendono dalle condizioni socio-economiche ed insediative locali. I tre più utilizzati sono la tassa di scopo, il *linkage capture* e il *land banking*.

È utile affermare che meccanismi di cattura del valore sono utili per intercettare parte dei fondi inducendo un circolo virtuoso di relazione tra i cittadini e la trasformazione dei quartieri, in modo da incentivare la partecipazione degli abitanti negli effetti dei cambiamenti indotti dalle trasformazioni stesse.

Di seguito possiamo vedere uno schema (Fig.1) in cui ogni blocco rappresenta una delle sei linee di ricerca qui accennate e da sviluppare nel lavoro di ricerca. Le frecce indicano le relazioni, evidenziando la necessità di un approccio interdisciplinare e multidimensionale ai problemi che presenta la Bioregione Pontina e tutti i sistemi territoriali in generale.

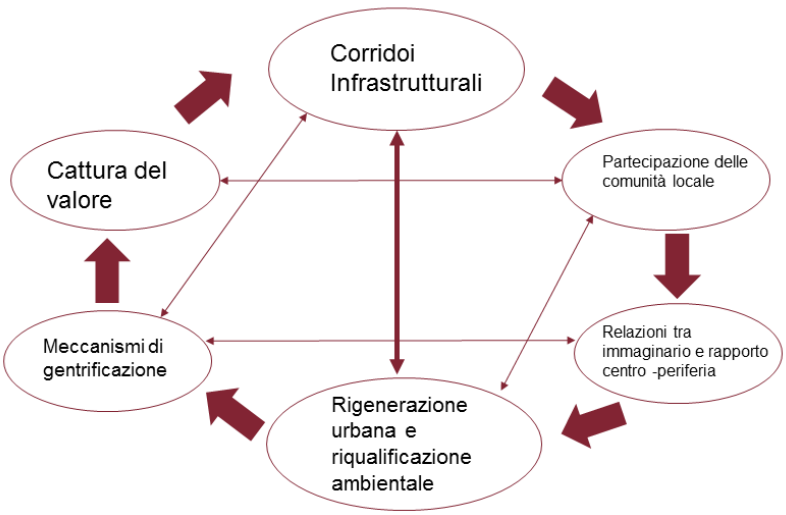

Fig.1 - Schema delle relazioni tra le linee di ricerca

Operativamente si perseguiranno i seguenti obiettivi:

- la definizione di metodologie di pianificazione integrata che favoriscano lo spostamento modale da sistemi di trasporto privato su gomma a si-

stemi di trasporto pubblico su ferro;
- lo sviluppo di tecniche e strumenti in grado di consentire un'effettiva integrazione tra pianificazione dei trasporti e pianificazione urbanistica e territoriale;
- l'individuazione di nuove metodologie che permettano la valutazione delle trasformazioni insediative indotte dalla linea su ferro e in particolare la quantificazione e la stima degli incrementi di valore degli immobili posti nelle vicinanze dei nodi della rete infrastrutturale attraverso l'integrazione tra metodi di stima e funzionalità dell'ambiente GIS;
- la sperimentazione di nuove forme di partecipazione delle comunità locali nei processi di realizzazione delle infrastrutture in modo da coinvolgere gli abitanti nella definizione di scenari e assetti futuri del proprio territorio di appartenenza;
- linee guida per la realizzazione di sistemi di tram-treno nel territorio italiano.

3. Il caso di studio: il tram-treno della Bioregione Pontina[2]

Le linee di ricerca e gli obiettivi prima sintetizzati sono stati applicati alla Bioregione Pontina che racchiude il territorio dell'Agro Pontino, comprendendo i Comuni del versante tirrenico dei Monti Lepini, la pianura bonificata integralmente nel decennio antecedente la seconda guerra mondiale e alcuni comuni dei Monti Ausoni.

Riguardo i criteri di delimitazione della Bioregione Pontina si veda l'introduzione del presente volume.

In questo contributo risulta importante il concetto di 'ambiente di vita', che è determinato in parte anche dalla mobilità ovvero da come gli abitanti del luogo si spostano all'interno del contesto territoriale. L'ambiente di vita con l'uso dell'auto è stato frammentato, diviso in più parti, molto spesso non connesse tra loro. Per riconnettere questi diversi luoghi la possibile soluzione è quella di effettuare uno spostamento modale dall'auto privata al trasporto pubblico soprattutto quello su ferro. In generale tutti i mezzi a guida vincolata su ferro rappresentano la *ligne de vie* dei territori che attraversano.

[2] Il caso di studio è stato precedentemente considerato nella tesi del Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria dell'Ambiente per lo Sviluppo Sostenibile "Il Tram-Treno ligne de vie della Bioregione Pontina. Scenari di futuro del territorio attraverso infrastrutture su ferro e cattura del valore dei suoli", relatore prof. arch. Alberto Budoni, correlatore prof. ing. Stefano Ricci.

Il termine *ligne de vie*, che in italiano può essere tradotto con 'linea della vita', fu utilizzato per la prima volta dai vertici della RATP (*Régie Autonome des Transports Parisiens*), la società pubblica che gestisce i servizi di trasporto di massa nell'area metropolitana di Parigi, agli inizi degli anni '90. Per *ligne de vie*, quindi, si intende la capacità dell'infrastruttura su ferro di riqualificare l'area urbana.

Bisogna quindi ritrovare il 'senso dell'attraversamento' ripensando il tempo del viaggio non come tempo sprecato ma come 'un'esperienza piacevole' (LYNCH, 1984).

La maggior parte della popolazione italiana attualmente vive in aree urbanizzate molte estese, aree vaste ovvero aree comprendenti comuni diversi e tra le quali esistono relazioni di tipo sociale e di tipo economico (LOSA ET AL., 2008). Un chiaro esempio di tali aree è il territorio ricadente all'interno della Bioregione Pontina in quanto si nota una forte relazione tra i diversi comuni presenti nell'area, correlazione misurata attraverso i dati ricavati dalla matrice origine/destinazione rilasciata dall' ISTAT (2011). In particolare risulta di notevole interesse evidenziare le problematiche presenti sul territorio suddividendole in tre macrosistemi: quello ambientale, quello socioeconomico e quello insediativo. Per quanto riguarda il sistema ambientale della Bioregione Pontina vi è la compresenza di due realtà differenti.

La prima è quella della pianura, caratterizzata dal degrado del sistema abiotico e dalla frammentazione ecologica dovute principalmente al forte impatto della matrice antropica, impatto che è sicuramente divenuto maggiormente pressante dagli anni della bonifica integrale, quando un intero ecosistema venne distrutto per 'redimere' le zone paludose, trasformando quelle zone umide in terreni agricoli che non sempre si sono dimostrati così fertili come era stato previsto. Inoltre la forte captazione di acqua potabile dalle falde sotterranee, sia a scopo agricolo che civile, il degrado dei suoli agricoli, causato dalla diffusione dell'orticoltura in serra, creano forti esternalità negative, indice di una non sostenibilità delle attività umane che operano sul territorio.

La seconda realtà è quella relativa all'ambito collinare e montano dei Monti Lepini dove permangono elementi ad alto valore naturalistico e una minore pressione degli insediamenti umani sul territorio circostante. Dal punto di vista socioeconomico l'alta vocazione agricola dell'area non è accompagnata da un sistema industriale capace di trasformare le materie prime agricole e pastorizie in prodotti finiti. Di particolare rilevanza sono le industrie del settore farmaceutico e del settore meccanico, indice di una visione del territorio pontino come territorio di scarto, in cui installare, possibilmente vicino alle vie di comunicazione stradale, impianti a rischio di incidente rilevante. Inoltre, lungo le pendici dei Monti Lepini-Ausoni sono visibili i segni lasciati nel paesaggio dalle

attività estrattive, tra le quali si riscontrano cave di calcare, inerti e sabbie quarzifere, queste ultime localizzate nella frazione di Fossanova di Priverno. Infine, per quanto riguarda il settore terziario, esso risulta localizzato nei tre comuni costieri di San Felice Circeo, Sabaudia e Terracina, i quali sono espressione di un turismo di tipo prettamente balneare con gli annessi servizi. Peculiarità di tale tipo di turismo è il fenomeno delle seconde case, abitate in gran parte da persone provenienti dalla capitale.

L'utilizzo massiccio dell'auto per gli spostamenti è a tutti gli effetti una esternalità negativa dello *sprawl* urbano, fenomeno che caratterizza il tessuto insediativo di gran parte della Bioregione, soprattutto all'interno della zona pianeggiante. In questo modo il sistema insediativo assume una conformazione diffusa che si snoda lungo le direttrici stradali su tutto il territorio innescando un circolo vizioso che induce gli abitanti a ricorrere all'auto privata per i propri spostamenti in quanto risulta scarsa e dispendiosa in termini di tempo, l'accessibilità al trasporto pubblico locale. A fronte di tali problematiche si colloca l'ipotesi di realizzare un servizio di tram-treno tra Sabaudia e Ceccano, che prevede l'utilizzo della linea ferroviaria esistente, la linea Roma-Formia-Napoli, e il tronco, da circa quattro anni in disuso, che collegava la stazione di Priverno Fossanova alla stazione di Terracina[3], nonché la realizzazione ex novo di due tronchi ferroviari: il primo che colleghi la stazione di Terracina con il centro urbano di Sabaudia, il secondo che ha il compito di congiungere le stazioni di Priverno Fossanova con quella di Ceccano, creando in tal modo anche la connessione trasversale tra le due linee longitudinali che collegano Roma con Napoli e la possibilità di poter viaggiare tra Latina e Frosinone con un mezzo su ferro.

Un corridoio infrastrutturale di questo tipo (Fig. 2), oltre ad essere un asse di collegamento tra i diversi centri del territorio, permetterebbe di riqualificare l'intera area in tutte le sue componenti, cercando di apportare soluzioni che mirino all'autosostenibilità dei luoghi (MAGNAGHI, 2010). Scendendo nel dettaglio delle soluzioni progettuali per ogni stazione sono stati pensati i relativi interventi di riqualificazione urbana e territoriale utilizzando la logica del T.O.D e ipotizzando l'implementazione di meccanismi di cattura del valore in grado di poter finanziare parte dei costi sostenuti per la realizzazione dell'infrastruttura. In questo modo attraverso un metodo analogico sono state fatte alcuni ipotesi per il ripopolamento dei comuni interessati dalla linea, specialmente quelli collinari, ripopolamento che diviene possibile grazie al miglioramento ambientale e insediativo apportato dalla realizzazione della linea su ferro. In tal modo, il 'ritorno alla collina' può ridurre il peso insediativo sulla zona pianeggiante. nol-

[3] Tronco inagibile a causa di fenomeni di dissesto idrogeologico avvenuti nel 2012.

tre, attraverso la riscoperta del senso dell'attraversamento (LYNCH, 1984) è possibile anche far sorgere una coscienza di luogo (MAGNAGHI, 2010) in grado di indirizzare le comunità locali verso l'autosostenibilità delle comunità stesse.

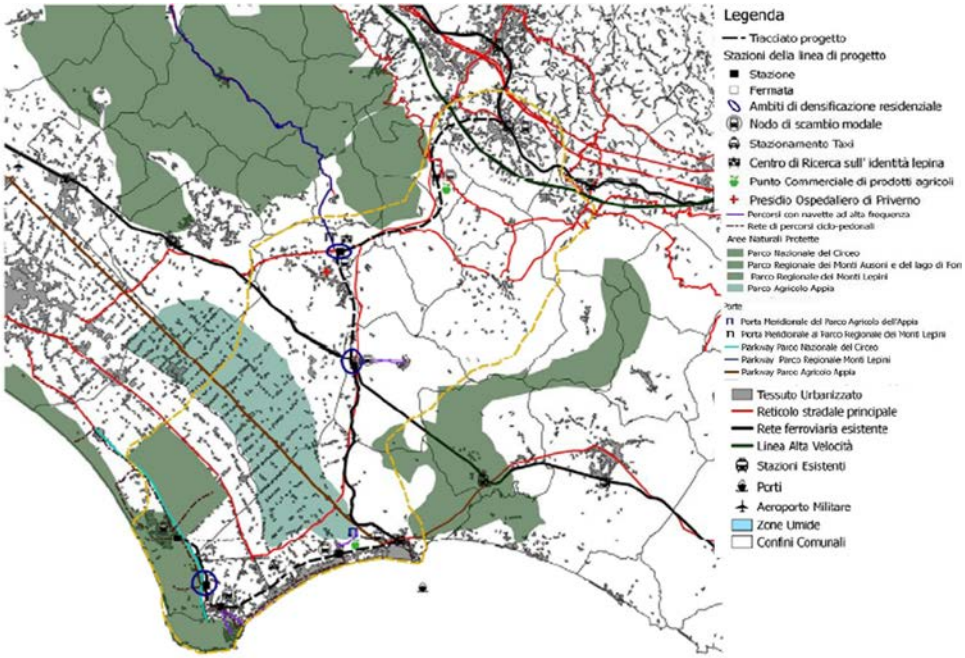

Fig. 2 - Ipotesi di assetto di un sub-ambito della Bioregione Pontina

Sono state inoltre condotte analisi per poter dimensionare i servizi ferroviari relativi, che prevedevano la messa in esercizio del servizio Circeo Express, un regionale veloce che partendo da Roma Termini avesse come unica fermata prima di Priverno Fossanova, da dove poi il servizio diviene un vero e proprio regionale, la stazione di Latina, e il regionale Roma-Frosinone via Latina, quest'ultimo con lo scopo di creare un collegamento ferroviario tra i due capoluoghi del Lazio meridionale.

4. Conclusioni

L'attività di ricerca sarà indirizzata principalmente alle tematiche riguardanti l'integrazione tra la pianificazione territoriale e urbanistica e quella dei trasporti in modo da costruire scenari di futuro dei territori bioregionali. In particolare visto anche in relazione alle problematiche del caso di studio, risultano necessari diversi approfondimenti sui meccanismi di cattura del valore da applicare per

recuperare parte dei fondi spesi nella realizzazione dell'opera, su possibili fenomeni di gentrificazione correlati alla riqualificazione degli insediamenti e sui temi della partecipazione delle comunità locali nei processi decisionali di pianificazione. Riguardo quest'ultima tematica di fondamentale importanza sono l'introduzione dei concetti di autogoverno e autosostenibilità delle comunità locali, che hanno entrambi l'obiettivo di riscoprire nuovi legami e relazioni con il territorio circostante al fine di ristabilire un rapporto di coevoluzione tra uomo e natura (MAGNAGHI, 2014) e che portino alla creazione di scenari di futuro il più possibile condivisi.

Riferimenti bibliografici

ANNUNZIATA S. (2007), "Se tutto fosse gentrification: possibilità e limiti di una categoria", in BALDUCCI A., FEDELI V. (2007 - a cura di), *I Territori della città in trasformazione. Tattiche e percorsi di ricerca*, Franco Angeli, Milano.

BOBBIO L. (2010), *Il dibattito pubblico sulle grandi opere. Il caso dell'autostrada di Genova***,** Rivista Italiana di Politiche Pubbliche.

CERVERO R. (2004), *Transit Oriented Development in the United States, Experiences, challenges and prospects***,** TCRP Report n°102.

DE SANTIS V. (2013), *La nuova legge della Regione Toscana in materia di dibattito pubblico regionale e promozione della partecipazione*, OSSERVATORIO ASSOCIAZIONE ITALIANA DEI COSTITUZIONALISTI, ottobre 2013.

GLASS R. (1964), *London: Aspects of Change***,** MacGibbon and Kee, London.

ISTAT (2011), *15° Censimento della popolazione e delle abitazioni*, Istituto Nazionale di Statistica.

LOSA M., LUPI M., BALDERI I. (2008), *Analisi di un sistema di trasporto pubblico a guida vincolata a servizio di un'area vasta*. HTTPS://WWW.ACADEMIA.EDU/747588/ANALISI_DI_UN_SISTEMA_DI_TRASPORTO_PUBBLICO_A_GUIDA_VINCOLATA_A_SERVIZIO_DI_UNAREA_VASTA.

LYNCH K. (1984), *Progettare la città. La qualità della forma urbana***,** Etaslibri, Milano

MAGNAGHI A. (2010), *Il progetto locale. Verso la coscienza di luogo*, Bollati Boringhieri, Torino.

MAGNAGHI A. (2014 - a cura di), *La regola e il progetto. Un approccio bioregionalista alla pianificazione territoriale*, Firenze University Press, Firenze.

RIZZETTO L. (2009), *Sicurezza e compatibilità geometrica della via dei tram-treno in ferrovia***,** Ingegneria Ferroviaria, n° 5, maggio 2009, pp1-31.

SPINOSA A. (2010), *Progetto tram-treno: le realizzazioni***,** Vol. 2, Roma, 2010. http://www.cityrailways.net/.

SEMI G. (2004), *Il quartiere che (si) distingue. Un caso di gentrificazione a Torino*, Studi Culturali, Anno I, n°1, giugno 2004.

SUMIRASCHI C. (2013), *Catturare il valore. Politiche innovative per finanziare le infrastrutture***,** EGEA, Milano.

ZUKIN S. (1982), *Loft living. Cultural Capital in Urban Change*, The John Hopkins University Press, Baltimore and London.

ZUKIN S. (1990), *"Sociospatial prototypes of a new organization of consumption: the role of real cultural capital", Sociology*, n° 24, pp.37-56.

II Sezione: studi su tecnologie per la sostenibilità ambientale

Big data nei sistemi complessi: analisi dell'efficienza energetica nei sistemi idrici integrati

Chiara Alfiero, Fabrizio Bonacina, Ennio Cima, Alessandro Corsini, Sara Feudo

Abstract

BIG DATA AND COMPLEX SYSTEMS: ENERGY EFFICIENCY IN WATER MANAGEMENT. In water network, management policies and practices attempt to reduce water losses, in order to ensure the regeneration time of the resource, and save the energy demand linked to water distribution and treatment.

The exploitation of water management with a view to sustainable local development inevitably implies a change in the modelling paradigm. The observation of the water system should shift from that of an engineering system, with attributes like well-designed or optimized, to so called complex engineering system therefore strongly dependent upon the environmental and the social context served.

The strength in considering the integrated water system as a complex system resides in the capability to analyse the system in its entirety, as an interwoven sets of elements strongly bounded, influencing and influenced by the surrounding environment. This allows to bringing to light the emergent characteristics of the overall system, originating within the complex network of connections composing the system itself.

In this context, the present work attempts to apply complex systems analysis tools together with data intensive techniques within the water management system, employing Multi Agent Systems methodology, with the aim to obtain water and energy consumption indicators taking into account of phenomena occurring in the process.

KEYWORDS: Water management, Complex Systems, Energy Efficiency, Multi Agent Systems, Big Data.

1. Introduzione

L'acqua è una risorsa fondamentale per le persone e per i sistemi ad essa collegati e dipendenti, ma risulta in continuo calo in tutto il mondo a causa di

fattori come il cambiamento climatico, la crescita della popolazione, l'urbanizzazione, le attività agricole e l'industrializzazione.

Risulta, quindi, d'importanza prioritaria affrontarne la sostenibilità sia dal punto di vista di un uso razionale ed efficiente della risorsa, sia dal punto di vista del mantenimento di elevati standard qualitativi di servizio. Di fronte a questo scenario, l'industria dell'acqua e delle infrastrutture idriche richiede pertanto una profonda trasformazione in termini di prelievo, resilienza e affidabilità.

Il governo locale non può più limitarsi a gestire il servizio idrico in relazione a scelte economiche globali ma ha il dovere di tener conto della base territoriale in cui è collocato, deve promuovere linee di sviluppo orientate alla tutela e valorizzazione dell'identità locale della bioregione ed instaurare connessioni con altri livelli locali e con i livelli superiori.

Il concetto di sviluppo locale autosostenibile proposto da Magnaghi (MAGNAGHI, 1995) enfatizza l'integrazione fra tre obiettivi: l'indirizzo dello sviluppo verso i bisogni umani fondamentali; la crescita della *self-reliance* e di autogoverno da parte della società locale; il miglioramento della qualità ambientale.

Pertanto, estendendo l'idea di autosostenibilità all'idrosfera, la gestione della risorsa idrica a livello locale[1] deve attivare il coinvolgimento dell'amministrazione e degli enti gestori della risorsa pubblica, e tener conto del contesto antropologico ed ambientale in cui agisce. Nel tentativo di ottimizzare e, quindi, chiudere a livello locale i cicli relativi ai flussi di materia ed energia coinvolti nel processo.

In questo scenario, il Servizio Idrico Integrato (SII) costituisce un contesto di elezione per l'implementazione delle politiche di gestione autosostenibile, vuoi per il suo ruolo critico nel metabolismo bioregionale, vuoi per il suo peso sull'impronta energetica di un territorio. Il SII consiste in una serie di operazioni basate su un sistema articolato d'impianti, reti e tecnologie. L'insieme di tali strutture deve garantire la distribuzione alle utenze finali di acque potabili e controllate, nonché il collettamento e trattamento delle acque reflue e la loro re-immissione nell'ambiente; tutto questo senza superare la capacità di riassorbimento della risorsa da parte dell'ambiente. Questo presuppone che il ciclo tecnologico, articolato nelle sue varie fasi di captazione, potabilizzazione, distribuzione, scarico, depurazione, riutilizzo e/o immissione nel corpo recettore, si rapporti costantemente con il ciclo naturale bio-ecologico, evitando prelievi

[1] I limiti di estensione dell'Ambito Territoriale Ottimale di riferimento (ATO 4) coincidono, ad eccezione dei Colli Albani, con la Bioregione Pontina.

eccessivi per garantire la rigenerazione della riserva idrica disponibile e assicurando al contempo la qualità dell'acqua in entrata ed in uscita al sistema.

Il SII deve, dunque, poggiare su una capacità pianificatoria e di gestione operativa di ampio respiro, dettata dalla complessità e trasversalità dell'ambiente, che impone una visione unitaria e integrata del territorio nei suoi diversi aspetti di programmazione, gestione e realizzazione, affinché non prevalgano approcci settoriali o emergenziali. Per tali motivazioni il sistema idrico integrato necessita di essere considerato ed analizzato come sistema complesso e non più come semplice sistema ingegneristico.

Parallelamente alla preservazione della risorsa idrica, l'altro elemento di cui tener conto è quello della riduzione dei flussi energetici coinvolti nel processo, promuovendo la corretta gestione dell'energia impiegata nelle diverse operazioni necessarie a garantire il servizio. I flussi idrici ed energetici rappresentano, infatti, le principali risorse interessate all'interno del SII ed in quanto tali devono essere preservate mediante una corretta gestione che garantisca la loro rigenerazione a livello locale. Il SII si occupa della gestione delle opere necessarie per fornire i servizi suddetti ma anche della manutenzione delle opere esistenti e della realizzazione di nuove opere, comprendendo, inoltre, tutte le attività collaterali, quali il risparmio idrico, la protezione delle sorgenti e il riuso delle acque depurate (SPAGNI ET AL., 2016).

La crescente richiesta idrica ed energetica, causata dagli elevati standard di vita, ed il conseguente degrado ambientale rappresentano una preoccupazione per i governi locali. In Italia il consumo totale nazionale di energia elettrica è pari a circa 300 miliardi di kWh; di questi, si stima che circa il 2,5% (i.e. 7,5 miliardi di kWh/a) sia assorbito dal servizio idrico integrato (ARONICA, 2015). Il processo di trattamento delle acque reflue comporta un consumo di energia tra 0,25 e 1,0 kWh/m^3. Per quanto riguarda invece la gestione delle acque potabili, le operazioni legate alla distribuzione idrica apportano un consumo tra il 50% e l'85% rispetto al totale. (COLLI VIGNARELLI ET AL., 2013).

Esiste, dunque, una forte connessione tra energia e acqua nei sistemi di approvvigionamento idrico, di trattamento delle acque reflue e di produzione di energia elettrica. Una fonte non può essere prodotta o fornita senza coinvolgere l'altra.

L'interrelazione acqua-energia, la forte dipendenza tra SII e territorio servito (l'uso delle acque è indirizzato al risparmio ed al rinnovo delle risorse in maniera da non pregiudicare il patrimonio idrico, la vivibilità dell'ambiente, l'agricoltura, la fauna, le flore acquatiche e gli equilibri idrogeologici) fa comprendere la necessità di una modellazione di un sistema idrico integrato alla luce del paradigma del sistema ingegneristico complesso, sia per massimizzare il

recupero d'acqua e di energia, sia per preservare e recuperare nutrienti per il riuso e per raggiungere gli obiettivi ambientali prefissati.

L'interconnessione e l'interdipendenza delle reti, sempre maggiore grazie allo sviluppo delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione, spinge nella direzione di una visione integrata dell'infrastruttura idrica; una visione che permetta di considerare tutte le connessioni del sistema e ne consenta una caratterizzazione sistemica.

Un quadro di modellazione di sistemi complessi può essere sviluppato per fornire un insieme di metodi di misurazione dinamica delle performance, integrando i cinque sottosistemi del ciclo dell'acqua: prelievo, accumulo, distribuzione, collettamento in fognatura e depurazione.

Nel presente lavoro una struttura ad agenti interagenti *Multi Agent Systems* (MAS) viene proposta, al fine di rappresentare la complessità del sistema nonché le relazioni che avvengono tra i differenti elementi e fenomeni che hanno luogo all'interno della bioregione in cui risiede il sistema idrico integrato d'interesse. In particolare sarà riportato un caso studio relativo ad una porzione territoriale della Bioregione Pontina.

2. Il SII nella Bioregione Pontina

La modalità più adeguata per inserire la gestione del SII nell'ottica della bioregione è quella di osservarlo, analizzarlo, e modellarlo tenendo conto della sua complessità. Le sfere ambientale, antropologica, economica e politica sono fortemente interconnesse nell'ambito della gestione del sistema idrico sia a livello locale che in un più ampio contesto globale. Inoltre, la modifica delle condizioni di una qualsiasi di queste sfere inevitabilmente avrà influenza sulle altre. In tale contesto, non ha più senso considerare il SII come sistema isolato da analizzare in modo meccanicistico ma è necessario ampliare l'analisi tenendo conto del contesto socio-politico, economico e soprattutto ambientale in cui è collocato.

Il SII della bioregione Pontina appartiene all'ATO4 del Lazio meridionale si compone di 38 comuni. L'infrastruttura per la distribuzione di acqua potabile è formata da circa 250 impianti comprendenti i punti di captazione, i serbatoi, i piezometri, le stazioni di pompaggio ed una rete di condotte di circa 3700 km (MAGINI ET AL., 2013).

Eccetto un paio di piccole sorgenti poste in quota, la maggior parte delle centrali di produzione si trova in pianura, per tale motivo la distribuzione avviene solo mediante potenti ed energivori impianti di pompaggio, sia per i

comuni di montagna che per quelli in pianura. I costi energetici (11 M€/anno) risultano pertanto i maggiori nel processo di distribuzione della risorsa idrica (MAGINI ET AL., 2013).

Il sistema idrico del territorio pontino ha risentito fortemente del veloce fenomeno di urbanizzazione avvenuto negli ultimi trent'anni. Il fermento delle attività insediative, agricole e produttive ha avuto effetti sulla qualità nonché sulla quantità della risorsa idrica del territorio. Da una parte l'intensificazione delle attività agricole ed industriali ha condotto all'inquinamento delle acque superficiali e di falda. Dall'altra la veloce espansione del tessuto urbano e residenziale ha condotto all'impermeabilizzazione dei suoli comportando il cambiamento dei tempi di corrivazione delle acque e quindi l'abbassamento dei livelli di falda. Tali fenomeni hanno portato a fenomeni di intrusione salina nelle zone costiere nonché carenze idriche nei periodi di maggiore richiesta.

La forte azione delle dinamiche socio-economiche sul sistema idrico integrato della Bioregione Pontina porta alla luce la forte interconnessione tra le diverse sfere ambientali economiche e sociali, e quindi la necessità di guidare tale rete di connessioni mediante lo sviluppo tecnologico al fine di convogliare tali sfere verso uno sviluppo sostenibile.

I metodi comunemente adottati in un sistema ingegneristico discendono da una prassi progettuale deterministica. Ovvero, il sistema ha caratteristiche precise che ne definiscono il campo di applicazione e la logica operativa. L'adattamento del sistema è delimitato entro limiti prevedibili (e controllati dalle politiche di gestione e manutenzione). La scelta dell'ottimo come obiettivo progettuale riflette il riduzionismo dell'ingegneria classica e poiché la complessità spesso complica la ricerca della soluzione ottimale, vi è una tendenza a limitarla o ridurla arbitrariamente.

Nel caso dei sistemi idrici integrati, di contro, a causa della complessità e dell'interdipendenza (nesso acqua-energia, nesso SII-territorio) non è possibile applicare le metodologie di modellazione solitamente impiegate nell'ingegneria dei sistemi (FEUDO, 2017). Non è più possibile, infatti, guardare a tali sistemi come isolati ed aventi un'unica soluzione chiusa in quanto si tratta di una rete di problemi fortemente interconnessa comprendente un ampio spettro di soluzioni.

I sistemi con tali caratteristiche sono definiti complessi, essi sono costituiti da una pluralità di elementi che interagiscono tra loro e con l'ambiente circostante, sono dinamici ed evolvono nel tempo in maniera non lineare in funzione di stimoli interni o esterni al sistema. L'interazione degli elementi genera un'ampia rete di connessioni, formando nidificazioni di sottosistemi collegati orizzontalmente o trasversalmente agli altri.

3. SII come sistema complesso

Il concetto di 'emergenza' nasce, invece, dalla relazione degli elementi stessi. L'interazione di elementi all'interno di un sottosistema dà vita a comportamenti apprezzabili soltanto guardando il sottosistema nel suo insieme, dunque da un livello superiore (KAUFFMAN, 1995). D'altra parte alcuni comportamenti emergenti nascono dall'interazione tra un livello e quello superiore e sono legati alla meccanica dei fenomeni che avvengono all'interno del livello inferiore i cui effetti si riscontrano a livelli di complessità superiori (BAR-YAM, 1997).

A seguito di tale premessa, l'intento nel modellare ed analizzare un SII in qualità di sistema complesso, è proprio quella di cogliere ed analizzare i fenomeni emergenti che nascono dall'interazione dei diversi processi che hanno luogo nella gestione idrica.

Il sistema idrico integrato può e deve essere considerato come sistema complesso, poiché costituito da un'articolata rete di elementi che interagiscono tra loro e con l'ambiente esterno. Essi dipendono fortemente dal contesto in cui sono inseriti: tipo di risorsa idrica (fiume, lago, sorgente, falda), morfologia dell'area in cui la risorsa idrica deve essere distribuita, vocazione territoriale dell'area interessata per la definizione delle destinazioni d'uso a cui asservire la risorsa (aree industriali, residenziali, agricole). D'altra parte, contestualizzando il problema in una visione più ampia, le sfere sociali, antropologiche, economiche e politiche possono a loro volta essere considerate all'interno del problema andando ad ampliare ancor più la rete di connessioni ed accrescendo il livello di complessità del sistema.

L'impiego di metodologie di analisi di sistemi complessi consente di analizzare tali problemi più agevolmente e in maniera più efficiente.

I sistemi complessi forniscono un più ampio repertorio di tecniche e algoritmi necessari per progettare sistemi di grandi dimensioni che possono lavorare in ambienti complessi e dinamici.

In un ambiente molto incerto non siamo in grado di pianificare la risposta di un sistema perché non possiamo anticipare tutte le possibilità che si possono incontrare. La differenza fondamentale tra i paradigmi dell'ingegneria dei sistemi classici e complessi risiede proprio nella definizione dell'obiettivo. Il focus passa dall'individuazione di una soluzione progettata a partire da ben definiti requisiti iniziali, all'individuazione delle pressioni che agiscono sugli elementi del sistema, quindi alla ricerca del metodo più opportuno per eliminare o ridurre tali pressioni.

L'ingegneria dei sistemi complessi non cerca di produrre un comportamento prevedibile e stabile all'interno di situazioni vincolate, ma di ottenere sistemi

in grado di adattarsi, cambiare e rinnovare. Nell'ingegneria dei sistemi complessi, l'evoluzione serve come meta-processo in cui l'ambiente funzionale consente al sistema complesso di adattarsi al mondo reale attraverso i cambiamenti nel tempo (BAR-YAM ET AL., 2006).

I sistemi informatici più intelligenti diventano la chiave per la gestione operativa più efficiente e l'ottimizzazione delle infrastrutture idriche, introducendo così il concetto di *Smart Water* (STEWART ET AL., 2010). L'implementazione di reti di monitoraggio e controllo dei sistemi interconnesse consente di trasferire e processare un gran numero di informazioni, prendere decisioni ed agire in tempo reale.

La rete che costituisce la struttura 'territoriale' del sistema da passiva diventa dunque attiva in grado di individuare problematiche ed agire in tempo reale. Si attua un processo di distrettualizzazione territoriale ossia di suddivisione della stessa in aree più piccole.

La pianificazione dell'intero sistema attraverso le simulazioni virtuali del modello idraulico e la raccolta ed elaborazione in tempo reale dei dati dalla rete di monitoraggio, rappresenta il metodo più efficace nella ricerca delle perdite di rete e di bilanciamento, da remoto, delle portate idriche in base al fabbisogno.

La digitalizzazione della gestione dei servizi idrici offre, dunque, i seguenti vantaggi:

- miglioramento delle capacità di previsione per la domanda di punta;
- miglioramento dei tempi di risposta in caso di guasti;
- monitoraggio in *real-time* della qualità del servizio;
- miglioramento della qualità dei servizi e la possibilità di sviluppare nuovi modelli di *business*.

Questo nuovo paradigma tecnologico consente di recuperare la puntuale interazione tra il SII e il territorio sul quale opera. Nonostante l'innovazione tecnologica ed i punti di forza legati al concetto di *smart grid*, è necessario accostare alla rete tecnologica un sistema di analisi delle informazioni prodotte che sia in grado di leggere la complessità della rete. Tutto il sistema va riconsiderato sotto una forma più ampia di sistema tecnologico a cui associare una metodologia di analisi delle informazioni che sia in grado di estrapolare le caratteristiche emergenti legate all'intero fenomeno.

4. Un modello MAS per il SII

Poiché il concetto di emergenza è legato ad un processo di tipo *bottom-up*, è necessario considerare il problema osservandolo dal basso. I principali proble-

mi da affrontare sono: come analizzare il comportamento globale a partire da semplici dati locali, come schematizzare il comportamento locale al fine di portare alla luce il comportamento globale, come ingegnerizzare i sistemi che si auto organizzano (AXELORD, 1997).

L'architettura *Multi Agent Systems* (MAS) consente di rappresentare la complessità del sistema nonché le relazioni che avvengono tra i differenti elementi e fenomeni che hanno luogo all'interno della bioregione in cui risiede il sistema idrico integrato d'interesse.

Tra i metodi per l'analisi dei sistemi complessi i MAS sono considerati i più promettenti a cogliere la complessità e rappresentare l'autorganizzazione dei sistemi. Gli agenti sono in grado di adattarsi, modificando la loro organizzazione attuale a favore di organizzazioni più promettenti (ARGENTE ET AL., 2007). La riorganizzazione può assumere diverse forme, gli agenti possono modificare i loro compiti, comportamenti, posizioni, connessioni o addirittura l'organizzazione dell'intero sistema può essere cambiata in modo dinamico. I MAS possono essere considerati un'entità sociale composta da numerosi agenti aventi compiti differenti e articolati secondo relazioni e strutture topologiche specifiche volte al raggiungimento dell'obbiettivo globale del sistema (DIGNUM V., DIGNUM F., 2007).

Praticamente un agente è un'entità di tipo *software* o *hardware* collocata in un determinato ambiente (tutto ciò che circonda l'agente) ed in grado di reagire automaticamente ai cambiamenti esterni. D'altra parte, l'agente è in grado di osservare e modificare a sua volta l'ambiente circostante mediante sensori o informazioni scambiate con altri agenti.

L'agente può alterare l'ambiente circostante effettuando operazioni oppure acquisendo e conservando informazioni su di esso. Le informazioni acquisite, nonché le decisioni prese e di conseguenza le azioni compiute dall'agente saranno differenti in funzione dell'ambiente in cui è collocato.

Lo schema in figura 1 (Fig. 1) illustra l'architettura dei sistemi ad agente. In particolare la figura riporta la parte relativa all'analisi del sistema e dell'interpretazione delle informazioni locali e globali acquisite.

Per ogni elemento (U) che costituisce il sistema, un *sensing agent* acquisisce le informazioni relative a quell'elemento ed all'ambiente circostante inviandole ad un *data logger*. Tali informazioni vengono poi inviate al *signal processing agent* che ha il compito di processarle, effettuando opportune analisi sui dati di monitoraggio, ed estrarre informazioni sul comportamento dell'elemento di interesse.

Il *fusion agent* raccoglie i dati provenienti dai diversi *signal processing agents* e li analizza fornendo un'informazione complessiva relativa all'intera *local network*. Il *fusion agent* è in grado di portare alla luce i comportamenti emergenti della rete.

L' *estimation agent* restituisce una stima relativa alle caratteristiche di interesse e può essere collocato in diverse posizioni della struttura MAS: a seguito del *signal processing agent* (fornendo una valutazione relativa al singolo elemento) oppure dopo il *fusion agent* (fornendo informazioni globali relative all'intera *local network* oppure all'intero sistema).

Ogni rete di monitoraggio locale (*local network*) restituisce informazioni relative ad un sottosistema, tali informazioni vengono a loro volta raccolte dal *fusion agent* per ottenere informazioni sul sistema complessivo.

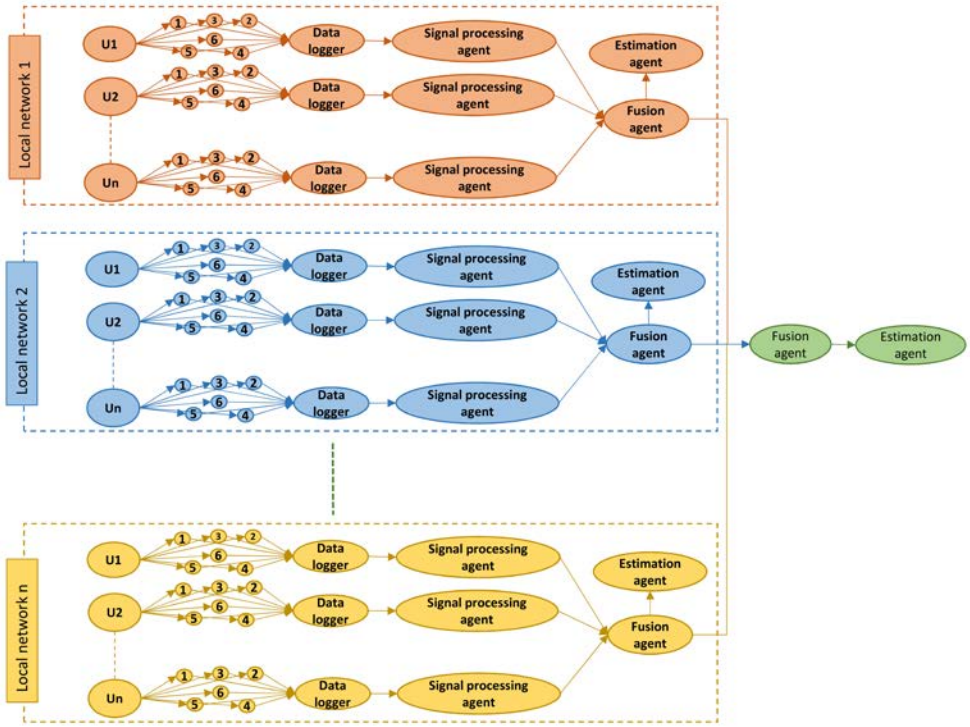

Fig. 1 - Architettura dei sistemi ad agente (*Multi Agent Systems*)

5. Esempio di modellazione di un sistema idrico integrato

In figura 2 (Fig. 2) si riporta uno schema semplificato di una possibile modellazione ad agenti interagenti del sistema idrico proposto.

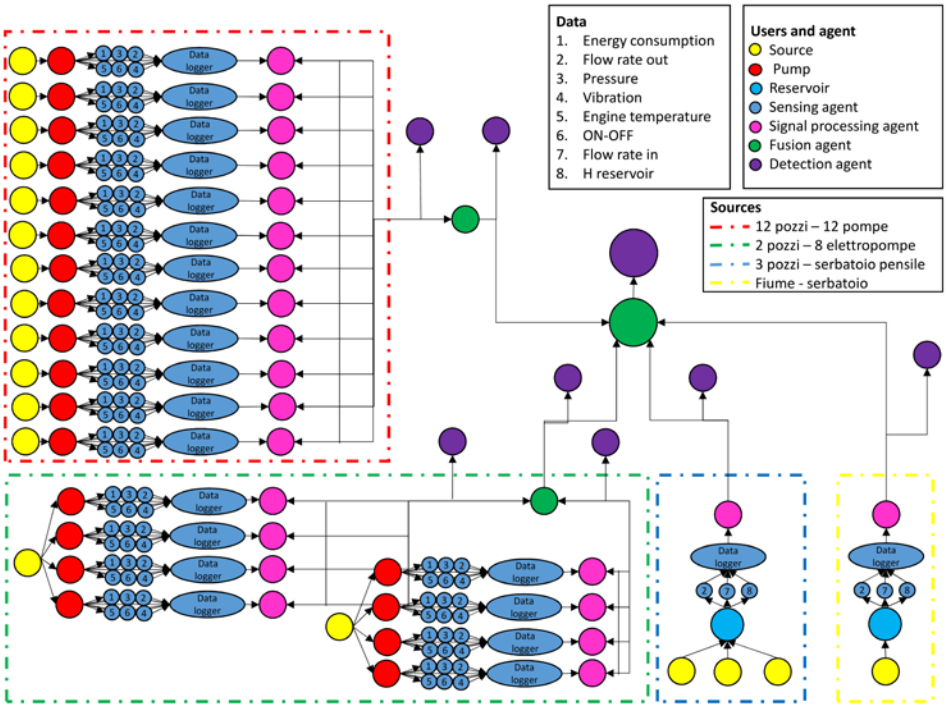

Fig. 2 - Struttura MAS per il sistema idrico integrato oggetto di studio

Le sorgenti sono rappresentate in giallo, le pompe per il prelievo idrico in rosso ed i serbatoi in celeste. Per ogni pompa di sollevamento è presente un *sensing agent* che acquisisce le informazioni relative alle pompe e le invia al *datalogger*. Per le pompe di sollevamento i dati raccolti sono: consumo energetico, portata in ingresso e in uscita dalla pompa, pressione, vibrazioni, temperatura del motore. Per quanto riguarda i prelievi idrici con collettamento in serbatoio per gravità, le variabili monitorate sono portata in ingresso e in uscita dal serbatoio ed altezza idrica nel serbatoio.

I dati vengono invaiti al *signal processing agent* per estrapolare le informazioni relative al comportamento dell'utenza. Tali informazioni possono essere analizzate direttamente dall'*estimation agent* per valutare lo stato idrico della falda e l'efficienza energetica e di processo della singola pompa; oppure possono essere inviate al *fusion agent* per portare alla luce le informazioni sullo stato complessivo dell'area di prelievo ed inviarle al *detection agent* per effettuare stime sullo stato di salute dell'area di prelievo (risorsa idrica disponibile e prelavata, efficienza del processo di pompaggio e quindi energetica), così da valutare possibili soluzioni per il corretto uso della risorsa idrica e dell'energia.

In particolare, il sistema idrico integrato è costituito da quattro aree di captazione della risorsa idrica (Fig. 3). Le prime due aree sono costituite da presa idrica in falda, rispettivamente otto pozzi aventi una pompa di sollevamento idrico ciascuno e due pozzi con quattro prelievi idrici ciascuno. La terza area comprende tre pozzi che conducono l'acqua per gravità ad un serbatoio pensile, mentre per l'ultima area la risorsa idrica è prelevata, sempre per gravità, da fiume. Come evidente nello schema, si tratta di quattro impianti molto differenti, inoltre il processo di prelievo idrico è influenzato in maniera diversa in funzione dall'ambiente di collocazione. Ad un livello di complessità superiore, le informazioni relative ad ogni area di captazione possono essere inviate ad un ulteriore *fusion agent* in modo da valutare l'intero sistema di prelievo idrico collocato nella bioregione di interesse.

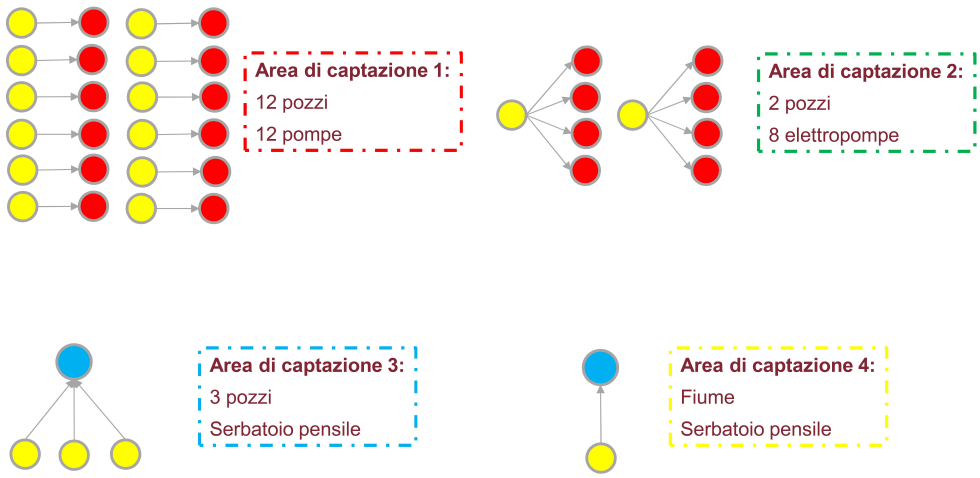

Fig. 3 - Caratteristiche delle aree di captazione del sistema idrico integrato

Il caso studio illustrato è una semplificazione di quella che può essere l'applicazione dei MAS nell'ambito del sistema idrico integrato. Aumentando il grado di complessità del sistema estendendo il monitoraggio ambientale sull'area di interesse (informazioni sulla piovosità, sul livello di falda, sul clima, sull'ambiente circostante l'area di prelievo) è possibile effettuare valutazioni importanti sullo stato della risorsa idrica e sull'ottimizzazione della sua gestione in funzione dei tempi di rigenerazione della risorsa, nonché sul bilancio delle emissioni di CO_2 a livello locale in funzione dell'energia assorbita dal sistema.

6. Conclusioni

L'impiego di una modellazzione fondata sull'analisi della complessità può guidare ad uno sviluppo sostenibile del sistema osservato.

Nel caso specifico del territorio pontino può portare all'osservazione ed al controllo, nonché al superamento delle criticità emergenti. Considerando le problematiche legate al sistema idrico integrato, il monitoraggio della rete idrica consente di analizzare nel dettaglio l'uso della risorsa idrica fornendo informazioni fondamentali ad una gestione sostenibile della risorsa.

Nel particolare caso del territorio pontino può rappresentare un utile strumento per gestire gli usi idrici in funzione del livello della falda idrica. Inoltre può fornire un aiuto all'ottimizzazione della rete idrica al fine di efficientare al meglio l'impiego della risorsa. Al contempo ciò conduce ad un efficientamento energetico del sistema consentendo la riduzione dei consumi energetici legati agli impianti coinvolti nella gestione della rete.

Il controllo del processo coinvolge anche il controllo della qualità della risorsa, consentendo di mappare le aree di maggior inquinamento e risalire all'origine del problema.

La modellazione della rete idrica come sistema complesso consente dunque di fornire strumenti utili non solo alla risoluzione di problemi legati alla gestione della risorsa ma può fornire anche informazioni utili alla pianificazione territoriale.

Riferimenti bibliografici

ARGENTE, E., PALANCA, J., ARANDA, G., JULIAN, V., BOTTI, V., GARCIA-FORNES, A, ESPINOSA, A. (2007), "Supporting Agent Organizations", in Burkhard, H.-D., Lindemann, G., Verbrugge, R., Varga, L.Z. (eds.), *CEEMAS 2007*, LNCS, vol. 4696, Springer, Heidelberg, pp. 236 - 245.

ARONICA O. (2015*),* "Certificati Bianchi, Presentazione dei progetti a Consuntivo (PPPM) Guida Operativa per il Servizio Idrico Integrato", ENEA Unità Comunicazione (eds), Roma.

AXELORD R. (1997), "Building New Political Actors", in Axelord R (eds), *Complexity of Cooperation*, Princeton University Press, Princeton NJ.

BAR-YAM D., BRAHA A.A., MINAI Y. (2006), *Complex Engineered systems: science meets technology*, Springer.

BAR-YAM Y. (1997), *Dynamics of Complex Systems (Studies in Nonlinearity)*, Addison-Wesley, Reading, MA.

DIGNUM V., DIGNUM F. (2007), *A Landscape of Agent Systems for the Real World,* Utrecht University, Utrecht.

COLLIVIGNARELLI C. ET AL.(2013*),* "Il consumo di energia elettrica negli impianti di depurazione: opportunità di risparmio",in Gruppo di Lavoro Gestione Impianti di Depurazione, Facoltà di Ingegneria dell'Università di Brescia e CTS Ecomondo (a cura di), Atti di Convegno Ecomondo, Brescia, pp. 1 - 8.

FEUDO S. (2017), *Data intensive complexity modelling using Multi Agent System in industrial processes - From fault detection and diagnosis to energy efficiency,* PhD thesis in Industrial and Management engineering, Sapienza, university of Rome.

HOLLING C.S. (1978), *Adaptive environmental assessment and management*, Wiley, London.

KAUFFMAN S.A. (1993), *The origins of order: Selforganization organization and selection in evolution*, Oxford University Press, New York.

KAUFFMAN S.A. (1995), *At home in the universe: The search for laws of complexity*, UK: Oxford University Press.

MAGINI R., VERDE D. (2013) *Un nuovo paradigma per la gestione delle risorse idriche e la difesa idraulica nel territorio pontino*, In Budoni A. (eds) Pianificare in controtendenza, Aracne Editrice, Roma pp. 55-58.

MAGNAGHI A. (1995), *Per uno sviluppo locale autosostenibile*, Materiali, Edizione Centro A-Z, Firenze.

SPAGNI A., FERRARIS M., MATTIOLI D., PETTA L. E BRUNORI C. (2016), *Water-energy nexus: la parte oscura del ciclo dell'acqua, cambiamenti climatici ed economia circolare*, ENEA Magazine, http://www.enea.it/it/pubblicazioni/EAI/anno-2016/n-1-gennaio-marzo-2016/water-energy-nexus.

STEWART. R.A. ET AL. (2010), *Web-based knowledge management system: linking smart metering to the future of urban water planning, Australian Planner*, Vol. 47, Taylor & Francis Group, London.

Sostenibilità economica e ambientale degli impianti per la produzione di biogas da reflui zootecnici: un caso di studio nel Comune di Pontinia

Andrea Cappelli, Marco Centra, Silvano Simoni

Abstract

ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY OF PLANTS FOR THE PRODUCTION OF BIOGAS FROM LIVESTOCK WASTE: A CASE STUDY IN THE MUNICIPALITY OF PONTINIA.The presence in the municipality of Pontinia of an intensive livestock activity has led to assess the possibility to realize a biogas production plant, aimed at the generation of electricity and thermal energy.

From an economic point of view various process scenarios were analyzed. An economic feasibility analysis was carried out, demonstrating that the maximum economic benefit of the production may be fostered with a biomethane production. The work also addressed the issue of improving the sustainability of biogas production plants, in order to amend their social acceptability.

KEYWORDS: Biogas, Anaerobic Digestion, Biowastes, Economic and Environmental Assessment, LCA

1. Introduzione

Il territorio del Comune di Pontinia (Provincia di Latina) è caratterizzato da un'economia prevalentemente agro-industriale, con presenza di un'intensa attività zootecnica a prevalenza di capi bovini e bufalini. L'intero territorio della provincia di Latina conta circa 91.000 capi (SERVIZIO VETERINARIO DI LATINA, 2015); di questi oltre il 30% è residente nel comune oggetto di studio. Ciò ha indotto alla valutazione della possibile realizzazione di un impianto di trattamento anaerobico dei liquami e letami prodotti dalle diverse aziende presenti sul territorio (nonché della paglia da lettiera) anche alla luce del miglioramento degli impatti a livello socio-economico e ambientale che l'utilizzo di *biowastes* per la produzione energetica comporta (CAPPELLI ET AL., 2015b).

L'applicazione in Italia della 'Direttiva Nitrati' (DIRETTIVA 91/676/CEE) limita lo spargimento sul terreno dei nitrati provenienti dagli allevamenti zootecnici, imponendo un trattamento specifico di denitrificazione dei liquami per ridurne la concentrazione in azoto, il cui costo risulta essere decisamente elevato. Pertanto il recupero economico derivante dalla produzione di energia consentirebbe di ammortizzare la maggiore spesa della denitrificazione, ma anche di tutti gli altri organi elettromeccanici (separatore S/L, miscelatori, elettrovalvole, pompe) che caratterizzano l'intero processo di digestione anaerobica.

Un altro importante vantaggio del trattamento anaerobico è rappresentato dal fatto che il materiale fermentato è praticamente inodore, riducendo sia la carica patogena che l'emissione di acidi organici e di altri componenti con cattivi odori.

Il presente lavoro riguarda l'analisi di fattibilità tecnico-economica di un impianto di co-digestione di liquami e letami bovini/bufalini, impiegando la paglia da lettiera come biomassa 'erbacea'. Si è determinato il quantitativo di reflui bovini e bufalini prodotti da 5.313 capi (secondo le modalità previste dal D.M. 7 Aprile 2006) necessari ad alimentare un impianto caratterizzato da una potenza elettrica di circa 850 kW (FABBRI, PICCININI, 2011).

Lo studio ha riguardato il dimensionamento dell'impianto, la valutazione economico-finanziaria dell'investimento e la stima dell'alternativa più remunerativa tra tutte le finalizzazioni di processo ipotizzate. Si è inoltre proceduto ad un approfondimento in merito al miglioramento della sostenibilità ambientale dei processi produttivi, finalizzato anche ad una migliore accettabilità sociale degli impianti.

2. La sostenibilità ambientale degli impianti per la produzione di biogas da reflui zootecnici e altri *biowastes*

Negli ultimi anni si è sviluppato un ampio dibattito, anche politico, sull'opportunità di costruire impianti per la produzione di biogas in aree rurali e industriali, spesso sfociato in vere e proprie contestazioni agli impianti stessi da parte dei cosiddetti 'comitati no biogas', per i quali numerose ipotetiche criticità impedirebbero di considerare sostenibile la produzione di questo biocarburante[1]. Nondimeno il biogas rappresenta il prodotto finale della trasformazione di *biowastes* che altrimenti dovrebbero essere considerati rifiuti, e

[1] Si veda, a puro titolo di esempio, il sito dal titolo "*sgonfiailbiogas – no biomasse no biogas senza se e senza ma*", all'indirizzo *sgonfiailbiogas.blogspot.it*.

dunque necessiterebbero di essere smaltiti a norma di legge o stoccati in discarica, raffigurando pertanto un'ulteriore pressione sull'ambiente e un aggravio economico per chi li genera (produzioni zootecniche e casearie, industrie alimentari, attività di macellazione, ecc). Il loro impiego in un processo di produzione energetica consente invece di trasformare un problema ambientale in una risorsa (CAPPELLI ET AL., 2015b), garantendo la possibilità di produrre energia rinnovabile e altri sottoprodotti (fertilizzanti, ammendanti) il cui utilizzo sostituisce quello di equipollenti risorse non rinnovabili. Appare evidente, tuttavia, che ogni impianto vada valutato a sé in funzione delle condizioni ambientali al contorno e della ricetta di alimentazione al digestore, analizzando l'intera filiera produttiva onde definirne con chiarezza le pressioni ambientali generate ed i relativi impatti.

Strumento imprescindibile per tale caratterizzazione è la Valutazione del Ciclo di Vita (LCA – *Life Cycle Assessment*) che consente di definire il carico ambientale ed energetico di un prodotto, processo o attività

identificando e quantificando energia e materiali utilizzati ed emissioni rilasciate all'ambiente, per valutarne l'impatto, per identificare e valutare le opportunità di miglioramento. La valutazione comprende l'intero ciclo di vita del prodotto, processo o attività, passando dall'estrazione e trasformazione delle materie prime, fabbricazione del prodotto, trasporto e distribuzione, utilizzo, riuso, stoccaggio, riciclaggio, fino alla dismissione[2] (SETAC, 1993).

La LCA è dunque uno strumento oggettivo di verifica degli impatti generati da un processo produttivo; l'applicazione della metodologia consente altresì di comparare processi differenti il cui obiettivo sia quello di produrre la stessa 'unità funzionale' (una certa quantità di biogas o di energia, nel caso in specie), dimostrando quale dei diversi processi presenti gli impatti minori a parità di produzione.

Molti studi di LCA sono stati eseguiti al fine di caratterizzare, dal punto di vista ambientale ed energetico, il processo produttivo di biogas da *biowastes* e l'eventuale trasformazione ultima del biogas in biometano (processo di *upgrading*). In questa sede si riportano, a puro titolo informativo, i risultati della LCA comparativa effettuata tra un impianto per la produzione di biogas analogo a quello del presente lavoro, costruito nell'ambito del progetto UE FP7

[2] Tratto da: Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC, 1993) - Guidelines for Life-Cycle Assessment: A 'Code of Practice'. Atti del Workshop sull'LCA svolto a Sesimbra (Portogallo) dal 31 marzo al 3 aprile 1993. La definizione ufficiale di LCA della Setac è oggi formalizzata nelle norme UNI ISO 14040 e 14044, che rappresentano i riferimenti di standardizzazione per l'applicazione della procedura.

Biowalk4Biofuels; un impianto di biogas da biomasse agricole; un impianto di produzione energetica da combustibile convenzionale. L'analisi è stata implementata a parità di capacità produttiva (CAPPELLI ET AL., 2015a).

I principali risultati dei tre scenari produttivi (normalizzati alla stessa unità funzionale), sono riportati nella figura 1 (Fig. 1) in relazione alle principali categorie di impatto (salute umana, qualità dell'ecosistema, esaurimento di risorse non rinnovabili). La figura mostra come gli scenari A (produzione di biogas da *biowastes* e biomasse algali) e B (produzione di biogas da biomasse agricole) presentano una *performance* ambientale notevolmente superiore a quella raggiunta nello scenario C con l'uso di risorse non rinnovabili. In particolare lo scenario A si dimostra il più performante sia in relazione agli impatti sulla salute umana che sulla qualità dell'ecosistema, presentando in ogni caso un effetto fortemente positivo anche sulla categoria d'impatto relativa all'esaurimento delle risorse non rinnovabili. La produzione di digestato come sottoprodotto di processo genera anch'essa elevati benefici alle categorie d'impatto considerate nello studio, contribuendo per una quota di circa il 45% al miglioramento della performance sulle categorie 'salute umana' e 'qualità dell'ecosistema' (CAPPELLI ET AL., 2015a).

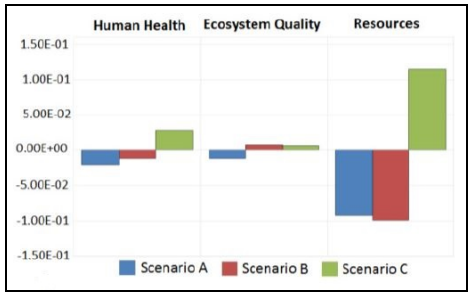

Fig. 1 - Valutazione degli impatti (LCA) per i tre scenari produttivi in relazione alle categorie salute umana, qualità dell'ecosistema, esaurimento delle risorse non rinnovabili *(fonte: CAPPELLI ET AL., 2015a).*

L'analisi comparativa generale sugli scenari viene riportata nella figura 2 (Fig. 2): si osserva come lo scenario A presenti complessivamente una *performance* ambientale migliore degli altri sistemi produttivi raffrontati, rivelando un miglioramento del 10% rispetto allo scenario B (per il mancato utilizzo di biomassa agricola, con consumo di suolo, in ingresso all'impianto) e un impatto inferiore di 38 volte rispetto allo scenario C (CAPPELLI ET AL., 2015a).

2.1 Il "biogas fatto bene" e le etichettature ecologiche degli impianti produttivi

Quanto riportato nel paragrafo precedente in riferimento alle *performances* ambientali di uno specifico sistema di produzione non può comunque essere

generalizzato a qualsivoglia livello; ogni impianto, in progettazione o già in esercizio, necessita di una valutazione ambientale ed energetica approfondita che ne metta in risalto gli elementi di positività e le eventuali criticità di processo, suggerendo possibili miglioramenti sia in termini di capacità produttive che di prestazioni ambientali.

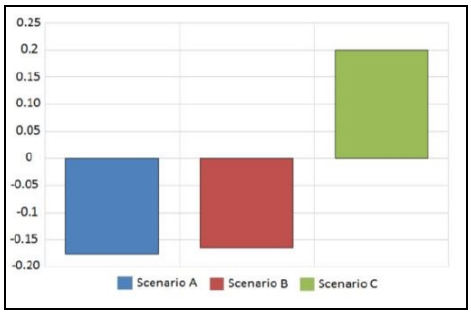

Fig. 2 - Analisi comparativa generale - *single score analysis* - per i tre scenari produttivi (fonte: CAPPELLI ET AL, 2015a).

A tal proposito, anche al fine di migliorare l'accettabilità sociale degli impianti, è invalsa la necessità di definire criteri qualitativi e quantitativi che creino meccanismi di premialità per gli impianti più sostenibili.

Il Consorzio Italiano Biogas, ad esempio, ha recentemente elaborato un documento programmatico ('Il biogas fatto bene') sottoscritto dalle principali associazioni del settore agro-energetico, nel quale vengono indicati gli elementi metodologici che possono contribuire ad accrescere la sostenibilità ambientale e sociale degli impianti produttivi di biogas e delle attività ad essi propedeutiche. Combinando tecnologie per la digestione anaerobica ed altre buone pratiche industriali e agricole, il Consorzio ritiene sia possibile ottenere una produzione energetica sostenibile, garantendo al contempo una positiva ricaduta economica su tutti i comparti coinvolti (agricoltura, zootecnia, industria) ed una accresciuta sostenibilità ambientale degli stessi [3].

Un'eventuale certificazione di processo ottenuta con i criteri succitati ricade fra le etichettature ecologiche di tipo II (UNI ISO 14021), cioè quelle che riportano auto-dichiarazioni ambientali da parte di produttori, importatori o distributori di prodotti, senza che vi sia l'intervento di un organismo indipendente di verifica e certificazione.

Per una migliore accettabilità sociale degli impianti biogas sarebbe tuttavia auspicabile l'ottenimento di etichettature ecologiche di tipo I (UNI ISO 14024), basate su un sistema di criteri selettivi, definito su base scientifica, che tiene

[3] Da *Biogasdoneright* – digestione anaerobica e sequestro di carbonio nel suolo
< https://www.consorziobiogas.it/wp-content/uploads/2016/12/biogasdoneright_-ITA.pdf>.

conto degli impatti ambientali dei prodotti o servizi lungo l'intero ciclo di vita, di importanti aspetti inerenti la salute e la sicurezza dei consumatori e, ove di pertinenza, dei principali aspetti sociali ed etici degli stessi processi produttivi. L'ottenimento di tali etichettature (*Ecolabel* UE, *Nordic Ecolabel* dei paesi scandinavi e *Blaue Engel* tedesco, perfettamente equivalenti tra loro) prevede un rigido meccanismo di verifica e certificazione da parte di un ente indipendente e rappresenta un indiscusso attestato di eccellenza, non solo a livello ambientale.

Sebbene l'*Ecolabel* UE (l'etichettatura più diffusa in Italia) non annoveri fra i gruppi di prodotto certificabili i sistemi per la produzione di energia, tale occorrenza è offerta dal *Nordic Ecolabel* (*Nordic Ecolabelling of Fuel and biogas for heating and industrial use* 2016): questa certificazione[4], ottenibile anche nei paesi dell'Unione Europea, rappresenterebbe una rilevante opportunità per il fiorente mercato del biogas italiano e garantirebbe l'eccellenza ambientale, energetica e sociale del processo produttivo, privando i detrattori di questa tecnologia dei principali argomenti su cui fondano la propria critica.

3. Disponibilità della biomassa ed individuazione del sito

Il controllo dei carichi zootecnici nel territorio assume particolare importanza al fine di contenere l'impatto ambientale delle attività agricole e zootecniche.

A partire dal numero di capi residenti in tutto il territorio provinciale, è stata calcolata la quantità di liquame, letame e paglia (con l'azoto in essi contenuto), applicando quanto descritto dal D.M. 7 Aprile 2006, con l'obiettivo di valutare l'effettiva compatibilità tra la realtà territoriale e quella produttiva attraverso la definizione della Superficie Agricola Utilizzata (SAU) necessaria per consentire un corretto smaltimento degli effluenti zootecnici prodotti dai singoli comuni (ISTAT 2010).

Dall'analisi effettuata, si evince che la situazione della sostenibilità zootecnica non è particolarmente critica, ovvero non ci sono zone dove la produzione di azoto è eccedentaria rispetto al limite di 170 kgN/ha anno; tutti i comuni posseggono le risorse per gestire il problema dello spandimento degli effluenti zootecnici.

La localizzazione dell'impianto è stata prevista nella zona industriale di Mazzocchio (Comune di Pontinia), in corrispondenza dell'ASI (Area per lo Svi-

[4] Al mese di maggio 2017 solo quattro impianti di produzione di biogas risultano aver ottenuto una etichettatura ecologica di tipo *Nordic Ecolabel*. Il primo impianto ad ottenere la certificazione nel mese di febbraio 2017 è localizzato a Vejle, in Danimarca; gli altri sono localizzati in Svezia, Finlandia e Islanda.

luppo Industriale) attraverso uno studio di prossimità realizzato con lo scopo di minimizzare gli impatti ambientali legati alle attività di trasporto dei reflui. Tali impatti rappresentano invero una delle maggiori criticità del ciclo di vita di un impianto per la produzione di biogas (CAPPELLI ET AL., 2015a) e le relative attività necessitano pertanto di una adeguata pianificazione e razionalizzazione al fine di limitare le pressioni indotte a livello locale (emissioni di particolato) e globale (emissioni di CO_2). A tal fine, dunque, è stato preso in considerazione un raggio di 10 km dal sito produttivo ipotizzato ove risultano residenti 5.313 capi di bestiame (SERVIZIO VETERINARIO DI LATINA, 2015).

In tabella 1 (Tab. 1) sono riportati i parametri utilizzati per il calcolo degli effluenti prodotti dai capi considerati, come descritto dal D.M. 7 Aprile 2006.

Tab.1 - Parametri utilizzati per il calcolo degli effluenti

Categoria	**Stabulazione**	**Liquame** m^3/t p.v./anno	**Letame** t/t p.v./anno	**Paglia** kg/t p.v./d
Vacche	Fissa	9	26	5
	Libera	16,43	18,5	3,5
Rimonta	Fissa	5	22	5
	Libera	12	16,17	6,67
Vitelli	Fissa	4	22	10

Ne consegue che il *biowaste* annuo prodotto dai suddetti capi risulta essere così come riportato nella seguente tabella (Tab. 2).

Tab. 2 - *Biowaste* prodotto da 5.313 capi analizzati

Liquame t/anno	**Letame** t/anno	**Paglia** t/anno
19.113,52	38.522,94	2.873,85

Il processo di digestione anaerobica risulta notevolmente migliorato se, ai reflui, sono aggiunti in co-digestione altri componenti come la paglia della lettiera. Quest'ultima, in particolare, consente sia di migliorare le caratteristiche e la stabilità dello stesso, sia di aumentare notevolmente la produzione di biogas, grazie al suo elevato potere metanigeno.

4. Dimensionamento dell'impianto di digestione anaerobica

In tabella 3 (Tab. 3) sono riportati i parametri necessari alla determinazione della potenza elettrica ottenibile da liquame e letame bovino/bufalino considerando due motori a combustione denominati 'a ciclo Otto' (PICCININI ET AL., 2008). Se agli effluenti si aggiunge anche il contributo della paglia, come già accen nato, è possibile incrementare la producibilità del biogas e,

conseguentemente, la potenza dell'impianto.

Tab. 3 - Parametri per la determinazione della potenza termica ed elettrica dell'impianto

Liquame prodotto	52,37 t/giorno
Sostanza Secca	9%
Solidi Volatili	80%
Resa biogas	300 m^3/t s.v.
Letame prodotto	105,54 t/giorno
Sostanza Secca	25%
Solidi Volatili	70%
Resa biogas	250 m^3/t s.v.
Biogas prodotto	6.141,16 Nm^3/giorno
Potenza elettrica ottenibile	567,20 kWe
Potenza termica ottenibile	671,69 kWt

In tabella 4 (Tab. 4) sono elencati i parametri presi in esame per tali calcoli.

Tab. 4 - Parametri relativi alla paglia per la determinazione della potenza termica ed elettrica complessiva dell'impianto

Paglia utilizzata	7,87 t/giorno
Sostanza Secca	85%
Solidi Volatili	85%
Resa biogas	500 m^3/t s.v.
Biogas prodotto	3.038,57 Nm^3/giorno
Potenza elettrica ottenibile	280,65 kWe
Potenza termica ottenibile	332,34 kWt
Potenza elettrica impianto	847,85 kWe
Potenza termica impianto	1.004,03 kWt

Ipotizzando che l'impianto lavori per 8.200 ore all'anno, l'energia elettrica complessivamente producibile è pari a 6.952,37 MWh/anno, mentre quella termica risulta essere 8.233,07 MWh/anno. Si ipotizza, inoltre, che l'impianto consumi per il proprio funzionamento circa il 45% dell'energia termica prodotta e l'8% di quella elettrica.

4.1 Caratteristiche dell'impianto

L'impianto di digestione anaerobica proposto è costituito da un fermentatore primario e da un fermentatore secondario, pertanto la produzione di biogas avviene in due fasi distinte. Nel primo digestore si completano le prime tre fasi del processo di digestione anaerobica (idrolisi, acidogenesi, acetogenesi), mentre la fase di metanogenesi avviene nel digestore secondario (PICCININI ET AL., 2008).

I fermentatori, denominati CSTR (*Continuously Stirred Tank Reactors*), sono dei

moduli orizzontali che lavorano 'a umido' caratterizzati da un tenore di solidi non superiore al 10%. Le vasche mantengono una temperatura di esercizio costante e prossima ai 40°C, tale da favorire la crescita di batteri e microrganismi 'mesofili' e sono mantenute completamente miscelate mediante opportuni sistemi di agitazione. I liquidi sono raccolti in una vasca di pre-miscelazione e convogliati da una pompa nel fermentatore primario. Il materiale palabile inizialmente viene raccolto all'interno di una platea di conferimento solidi; da qui, tramite l'utilizzo di una ruspa, viene inviato al sistema di alimentazione (vasca).

All'uscita del fermentatore primario, il substrato e il biogas prodotto passano in quello secondario, dove viene completato il processo di digestione anaerobica. In uscita dal digestore secondario si hanno i due prodotti della digestione: il biogas e il digestato. Il primo viene inviato al cogeneratore per la produzione di energia elettrica, il secondo ad un separatore solido/liquido con la finalità di abbattere l'azoto al campo (per la parte liquida) tramite un reattore SBR (*Sequencing Batch Reactor*) dove si effettua una nitro-denitro (MASOTTI, 1987) e di utilizzare la parte solida come ammendante in agricoltura grazie al suo elevato potere fertilizzante, accumulandola temporaneamente in un container.

In figura 3 (Fig. 3) è riportato uno schema semplificato dell'impianto di biogas in questione.

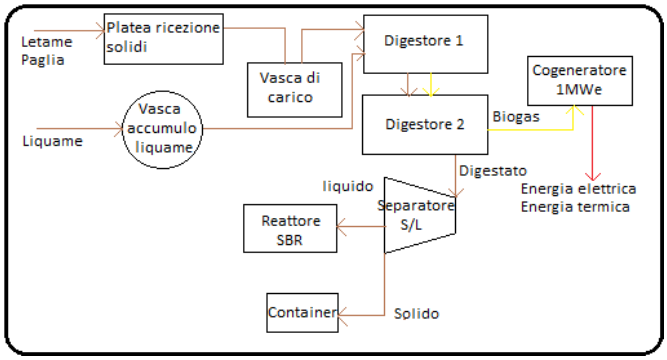

Fig. 3 - Schema dell'impianto produttivo

4.2 Dimensionamento dei componenti dell'impianto

Il materiale palabile in arrivo all'impianto si stima in 113,42 t/giorno e andrebbe accumulato in un fabbricato chiuso dotato di platea. La superficie interna dovrebbe essere di almeno 450 m^2 tale da garantire un tempo di stoccaggio di almeno tre giorni e un'agevole movimentazione di una ruspa dedicata al prelievo dei solidi per l'invio ad un'ulteriore vasca di carico contenente una pompa trituratrice, in grado di separare eventuale materiale inerte contenuto presumibilmente nella paglia, ed un nastro trasportatore per convogliare il ma-

teriale al digestore primario. Il liquame andrebbe accumulato in una vasca di 1.000 m^3, dimensionata, anche in questo caso, per far fronte ad eventuali eccedenze.

Il volume complessivo di digestione sarebbe di circa 8.000 m^3, calcolato utilizzando la seguente relazione (FABBRI 2010):

$$V = \frac{Q \cdot SS \cdot SV}{COV}$$

$Q = carico\ giornaliero\ \left(\frac{t}{d}\right)$

$SS = solidi\ totali\ (\%TQ)$

$SV = solidi\ volatili\ (\%SS)$

$COV = carico\ organico\ volumetrico\ \left(\frac{kg_{SV}}{m^3\ giorno}\right)$

$V = volume\ digestore\ (m^3)$

Il volume finale sarà ottenuto imponendo un COV (Carico Organico Volumetrico) pari a 3,5 kg_{SV}/m^3 giorno che restituirà tempi di ritenzione idraulica (HRT) accettabili, di poco superiore ai 20 giorni. Entrambi i fermentatori presentano un raggio di circa 10 m ed un'altezza di 6 m.

La quantità di digestato prodotta potrà essere ricavata nel seguente modo:

$$P_{digestato}(t) = P_{biomassa}(t) - (V_{biogas}(m^3) \cdot \rho_{biogas}\left(\frac{kg}{m^3}\right))$$

Con un peso pari a 56.675,11 t/anno, si stima che la componente liquida corrisponda al 75% del peso totale e quella solida il 25%; di conseguenza il reattore SBR avrà una superficie di 40 m^2, mentre il container sarà da 10 m^2.

5. Analisi economica

La valutazione dell'investimento dell'intera filiera di gestione degli effluenti zootecnici dell'impianto è stata condotta considerando i costi di investimento iniziali, i costi di manutenzione e di esercizio dell'impianto, i ricavi derivanti dalla vendita dell'energia elettrica (o del biometano ottenuto, a seconda dello scenario a cui si fa riferimento, come di seguito riportato) e del fertilizzante solido. In questo studio non si è fatto riferimento alla vendita dell'energia termica. Per quanto riguarda la valutazione della convenienza dell'investimento,

sono stati determinati alcuni parametri economici e finanziari con criteri basati sull'attualizzazione dei flussi di cassa, ossia sui valori monetari positivi e negativi attualizzati attraverso un tasso di sconto deflazionato (THUESEN, FABRYCKY, 1994):

Tempo di ritorno (*PAYBACK* – PB) - numero di anni necessario a ripagare il costo sostenuto;

Valore Attuale Netto (VAN) - valore attualizzato, scontato secondo il tasso di interesse, dei redditi futuri (ricavi meno costi) compreso l'investimento iniziale;

Tasso Interno di Rendimento (TIR) - rendimento offerto dal progetto, calcolato sulla spesa iniziale in base ai flussi di cassa generati nei periodi successivi.

5.1 Analisi dei costi

Nell'analisi dei costi vengono individuati quattro scenari.

SCENARIO 1

Nel primo scenario viene considerato un impianto di biogas generico da 1MWe con separatore solido/liquido del digestato prodotto e abbattimento dell'azoto mediante processi di nitrificazione e denitrificazione ed utilizzo agronomico del digestato solido, nel rispetto della normativa sui nitrati. I costi di investimento sono calcolabili con la seguente relazione (RAGAZZONI, 2013):

$$C = \left(\frac{P}{P_o}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot C_o$$

$C = costo\ da\ stimare$

$P = potenza\ dell'impianto$

$C_0\ e\ P_0 = valori\ di\ riferimento$

Tali costi comprendono lavori di scavo, opere civili, ecc. In aggiunta, si deve considerare anche il costo per la nitro-denitro. I costi di gestione, invece, rappresentano circa il 6% dell'investimento iniziale e si ipotizzano più o meno costanti per tutti gli anni dall'entrata in esercizio dell'impianto. A questo si aggiunge il costo di gestione del reattore SBR e quello relativo al conferimento del *biowaste* all'impianto (si è fatto riferimento solo al consumo di carburante per il trasporto): queste spese sono state calcolate ipotizzando il trasporto del liquame (andata più ritorno a vuoto) delle varie aziende residenti in un raggio massimo di 10 km all'ipotetico sito di costruzione dell'impianto, tramite un'autocisterna da 35 m^3 di portata. I consumi (media tra viaggio a pieno carico e ritorno a vuoto) sono di 42 l/100km. Il prezzo del carburante è stato impo-

sto a 1,37 €/l.

Lo stesso ragionamento è stato fatto per il trasporto del materiale palabile, con l'unica differenza che viene utilizzato un autocarro da 20t di portata.

SCENARIO 2

Anche in questo scenario si considera un impianto di biogas con produzione di energia elettrica e termica. La differenza con il precedente è che l'energia elettrica prodotta viene utilizzata per alimentare veicoli elettrici impiegati per il conferimento del *biowaste* all'impianto, abbandonando definitivamente la dipendenza dal diesel. In questo scenario i costi di investimento sono maggiori perché bisogna considerare anche il costo di acquisto delle batterie e il costo di trasformazione dei veicoli in *full-electric*; i costi di gestione, invece, risultano molto più bassi perché è stato utilizzato un metodo di trasporto alternativo. L'autocarro per il trasporto del materiale palabile è da 7,5 t di portata.

SCENARIO 3

Il terzo scenario prevede la realizzazione di un impianto di biogas che, attraverso una tecnologia di *upgrading* (PSA), produca biometano che potrebbe essere utilizzato per autotrazione, distribuito tramite una stazione di rifornimento adiacente all'impianto stesso, alimentando veicoli *dualfuel* (MARANGONI ET AL., 2013). I costi di investimento aumentano rispetto ad un impianto generico di digestione anaerobica; questo è dovuto soprattutto ai costi della tecnologia di *upgrading* (PICCININI, BASSI, 2013). Conseguentemente aumentano anche i costi di gestione dell'impianto.

SCENARIO 4

Questo scenario è praticamente identico al precedente, con la differenza che si utilizzano veicoli ibridi al posto dei *dualfuel* per il conferimento del materiale all'impianto.

Nelle tabelle 5 e 6 (Tabb. 5 e 6) sono riportarti, a titolo di confronto, i costi di investimento e quelli di gestione relativi a ogni scenario.

5.2 Analisi dei ricavi

Le entrate degli impianti di biogas derivano dalla vendita dell'energia elettrica e termica ed in particolare nell'incentivo riconosciuto dal GSE (Gestore Servizi Energetici) per l'energia elettrica prodotta.

La potenza dell'impianto in questione, essendo di circa 850 kWe, può accedere ad una tariffa base omnicomprensiva del valore di 17,8 € cent/kWh.

Tab. 5 - Costi di investimento non attualizzati

Scenario 1 (€)	Scenario 2 (€)	Scenario 3 (€)	Scenario 4 (€)
3.783.214	3.889.214	5.393.214	5.449.214

Tab. 6 - Costi di esercizio

Scenario 1 (€)	Scenario 2 (€)	Scenario 3 (€)	Scenario 4 (€)
345.898	322.242	679.047	667.402

Alla tariffa base possono sommarsi, ma non nel caso in questione, alcuni premi aggiuntivi per la Cogenerazione ad Alto Rendimento (CAR) e la rimozione/recupero dell'azoto.

Per quanto riguarda gli scenari dove viene prodotto biometano, le entrate sono date dal biometano vendibile per autotrazione (0,60 €/Nm^3 + IVA) e dagli incentivi riconosciuti attraverso i CIC (Certificati di Immissione in Consumo).

Oltre alle suddette entrate, variabili in base allo scenario considerato, si è fatto riferimento ad un ricavo costante per tutti e quattro i casi, vale a dire la vendita del digestato solido utilizzabile come ammendante in agricoltura.

5.3 Analisi finanziaria

L'analisi finanziaria è stata condotta con il fine di ricavare gli indici finanziari più importanti già accennati in precedenza: VAN, TIR e tempo di *PayBack* (THUESEN, FABRYCKY, 1994). Dall'analisi della tabella 7 (Tab. 7) si evince che gli indici più vantaggiosi si hanno per un impianto di biogas generico che produca energia elettrica e termica (scenario 1).

Tab. 7 - Analisi dei principali indici finanziari

	scenario 1	scenario 2	scenario 3	scenario 4
PB (a)	2,65	2,73	2,90	3,00
VAN (€)	18.210.021	17.994.904	18.290.439	18.318.902
TIR (%)	39,02	37,76	34,81	34,54

5.4 Valutazione economica delle alternative

L'analisi economica si conclude con la scelta dell'alternativa economicamente più conveniente e a tal proposito si confrontano tutte le alternative in base alla differenza tra i flussi di cassa.

Per applicare questo criterio decisionale a un gruppo di alternative che si escludono reciprocamente, bisogna procedere come segue:

- elencare le alternative in ordine crescente rispetto al costo iniziale;
- considerare inizialmente, come alternativa 'attualmente migliore', quella che presenta il costo iniziale più basso;
- confrontare l'alternativa 'attualmente migliore' con quella più 'ambiziosa', esaminando le differenze tra i due flussi di cassa (se il valore attuale trovato è inferiore o uguale a zero, l'alternativa 'attualmente migliore' rimane invariata e la seconda viene eliminata);
- ripetere il confronto finché ogni alternativa non sia stata considerata.

Il processo decisionale appena descritto mostra che lo scenario 4 rappresenta la scelta ottimale tra tutte le alternative considerate.

6. Considerazioni sul miglioramento della sostenibilità degli impianti

L'analisi economica, se da un lato risulta imprescindibile ai fini della valutazione dell'investimento, dall'altro non offre comunque garanzie sulla oggettiva sostenibilità del processo produttivo. All'opposto l'implementazione della metodologia LCA permette di caratterizzare i carichi energetici e ambientali del processo, non soffermandosi tuttavia sugli aspetti economici, che appaiono comunque fondamentali per una coerente progettazione dell'intervento.

Una possibile integrazione di tali distinte metodologie è rappresentata dall'applicazione del *Life Cycle Costing* (LCC), introdotto concettualmente negli artt. 67 e 68 della Dir. 2014/24/UE ('costo del ciclo di vita del prodotto'). L'LCC si propone infatti di valutare i costi privati e sociali lungo tutto il ciclo di vita di un prodotto/servizio, dalla produzione, all'utilizzo, alla manutenzione; nella procedura vengono considerate le fasi di sviluppo e progettazione del sistema, il consumo di energia e di altre risorse rinnovabili e non, le esternalità ambientali generate (emissione di GHG, *greenhouse gas*, o di altri inquinanti in atmosfera, suolo, acque) e l'utilizzo dell'energia prodotta, fornendo, nel caso di specie, il reale costo (economico e ambientale) di un impianto per la produzione di biogas.

Per migliorare la sostenibilità degli impianti, e dunque incidere significativamente sull'accettabilità sociale degli stessi, si ritiene necessario procedere con l'applicazione di metodologie LCA e LCC sia in fase di progettazione che in fase di esercizio, con l'obiettivo di un miglioramento continuo dei parametri di processo, che possa altresì condurre all'ottenimento di un'etichettatura ecologica di Tipo I, considerata la massima espressione di eccellenza ambientale, energetica e sociale del processo produttivo.

L'utilizzo di *biowastes*, inoltre è fortemente auspicabile nella ricetta di alimen-

tazione al digestore anaerobico, anche alla luce del significativo beneficio ambientale ed economico che questo comporta a livello locale (CAPPELLI ET AL., 2015b). La stabilizzazione della biomassa trattata, ottenuta grazie all'abbattimento della carica patogena presente nello scarto zootecnico, è un altro punto a favore della sostenibilità degli impianti di digestione, i quali, grazie ai processi termofili e di pastorizzazione presenti in alcune tipologie impiantistiche, permettono un utilizzo sicuro del digestato in uscita.

È da evidenziare, inoltre, la duplice funzione di un impianto di digestione anaerobica, che può permettere il trattamento sia della componente solida che della componente liquida dello scarto ricevuto. È importante ricordare che lo scarto liquido rende necessario, negli allevamenti, un trattamento specifico per essere immesso in fogna (qualora ci sia) o per essere immesso in un recettore idrico (MASOTTI, 1987). L'impianto di digestione anaerobica ipotizzato nel presente studio è caratterizzato da una specifica depurazione della componente liquida in uscita dall'impianto che ne permette lo scarico in qualsiasi corpo recettore o fognatura, generando in tal modo un significativo beneficio ambientale.

Interessanti evoluzioni del processo di digestione anaerobica mirano ad effettuare, tramite il processo di *stripping*, la rimozione del 70% di ammoniaca dalla componente liquida del digestato per il successivo impiego nella formulazione di prodotti di arricchimento dei terreni. Il risultato è duplice: vi è un evidente recupero di una preziosa matrice organica, di primaria importanza per la fertilizzazione mirata del terreno, ed un beneficio economico derivante dalla vendita del prodotto. La cattura dell'ammoniaca tramite il processo in continua sopra richiamato permette la sintesi del solfato di ammonio che è l'elemento base per la produzione dei fertilizzanti.

7. Conclusioni

Gli effluenti zootecnici, nella provincia di Latina, possono essere considerati una risorsa naturale utilizzabile per la produzione di energia rinnovabile. Il territorio suddetto presenta un potenziale massimo di produzione di biogas da effluenti zootecnici di circa 40 milioni Nm^3 biogas/anno. Il biogas prodotto può essere utilizzato in cogenerazione per la produzione di energia elettrica e termica, oppure raffinato a biometano ed utilizzato per autotrazione come biocarburante o immesso nella rete del gas naturale.

In relazione alla valutazione economica quattro scenari produttivi sono stati analizzati, consentendo di verificare come alternativa 'attualmente migliore' la

produzione e vendita di biometano (scenario 4) che presenta un tempo di ritorno degli investimenti pari a 3 anni, con un tasso di sconto del 3%, un VAN positivo di € 18.318.902,12 ed un TIR del 34,54%.

La produzione di biogas da soli effluenti zootecnici nel territorio del Comune di Pontinia permette di ottenere risultati molto interessanti sia in termini energetici che economici. Non sono poi da sottovalutare i benefici ambientali derivanti dalla riduzione degli impatti sia a livello locale che globale, come pure il contenimento dell'impatto olfattivo giustificato da un ottimale impiego agronomico del digestato rispetto agli effluenti zootecnici non sottoposti a digestione anaerobica.

Dal punto di vista socio-ambientale, al fine di migliorare la sostenibilità degli impianti e incidere significativamente sull'accettabilità sociale degli stessi, si riterrebbe inoltre opportuno procedere con le seguenti attività:

- applicare al processo produttivo le metodologie LCA e LCC sia in fase di progettazione che in fase di esercizio, con l'obiettivo di un miglioramento continuo dei parametri di processo, che possa altresì condurre all'ottenimento di una etichettatura ecologica di Tipo I, considerata la massima espressione di eccellenza ambientale, energetica e sociale del processo produttivo;
- realizzare uno studio di prossimità per la localizzazione dell'impianto, con lo scopo di minimizzare gli impatti ambientali legati alle attività di trasporto dei reflui, dal momento che queste raffigurano delle significative criticità; l'uso di *biowastes* 'a km 0' nella ricetta di alimentazione del digestore anaerobico determina ricadute positive, a livello locale, anche in termini economici, consentendo la valorizzazione energetica di materiale altrimenti considerabile come rifiuto;
- stabilizzare il biowaste trattato abbattendone la carica patogena attraverso processi termofili e di pastorizzazione che permettano un utilizzo sicuro del digestato in uscita. Trattare inoltre sia la componente solida che liquida dello scarto ricevuto.

Riferimenti bibliografici

CAPPELLI A., GIGLI E., ROMAGNOLI F., SIMONI S., BLUMBERGA D., PALERNO M., GUERRIERO E. (2015), "Co-digestion of macroalgae for biogas production: an LCA-based environmental evaluation", *Energy Procedia*, Vol. 72, pp. 3-10, June 2015, Elsevier.

CAPPELLI A, GIGLI E., ROMAGNOLI F. (2015) "Socio-economic impacts due to the exploitation of local biowaste before and after B4B Project", *documento ufficiale del progetto FP7 Biowalk4Biofuels*, in *Deliverable* n. 7.14, Participant Portal dell'Unione Europea, maggio 2015.

FABBRI C. (2010), "Elementi di valutazione per lo studio di fattibilità di impianti biogas", in *Atti dei Seminari sulle filiere agro-energetiche*, Bologna, novembre 2010.
FABBRI C., PICCININI S. (2011), "Biogas – "Metodi di valutazione del potenziale metanigeno", *Bollettino del Centro Ricerche Produzioni Animali*, n. 5/2011, pp. 1-4, Reggio Emilia, maggio 2011.
DIRETTIVA 91/676/CEE del 12 dicembre 1991, "Protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole". Gazzetta Ufficiale delle Comunità Europee del 31/12/1991.
MARANGONI A., D'ADAMO I., MATTIROLO P. (2013), "Il Biometano. Potenzialità, Economics e Prospettive di Sviluppo", in *Osservatorio Agroenergia*, Althesys, Milano.
MASOTTI L. (1987), *Depurazione delle acque. Tecniche ed impianti per il trattamento delle acque di rifiuto,* Calderini Editore, Bologna.
PICCININI S., BONAZZI G., FABBRI C. ET AL. (2008), *Energia dal biogas: prodotto da effluenti zootecnici, biomasse dedicate e di scarto*. AIEL - Associazione Italiana Energie Agroforestali, Legnaro (Padova).
PICCININI S., BASSI C. (2013), *Principi base e tecnologie dell'upgrading,* Consorzio Italiano Biogas, Milano.
RAGAZZONI A. (2013), "Biogas, analisi della redditività al variare di taglia e dieta", in *L'Informatore Agrario*, novembre 2013, Supplemento, Edizioni L'Informatore Agrario, Verona.
THUESEN G. J., FABRYCKY W. J. (1994), *Engineering Economy*. Il Mulino, Bologna.

Banche dati

ISTAT, VI Censimento generale dell'Agricoltura, 2010 <http://dati-censimentoagricoltura.istat.it/Index.aspx>.
SERVIZIO VETERINARIO DI LATINA, Dati ASL, 2015.

Tecniche innovative di consolidamento dei terreni per la mitigazione dei geo-rischi della realtà pontina

Ignazio Paolo Marzano, Giuseppe Iorio, Giuseppe Panetta

Abstract

INNOVATIVE GROUND IMPROVEMENT TECHNIQUES FOR GEO-HAZARD MITIGATION OF THE PONTINA AREA. The Soil Mixing Method is a widely spread in situ ground improvement technique that uses different kind of binders to enhance the mechanical and physical properties of soils. Once introduced in the ground the binder is blended with the soil by rotary mixing tools. Mixing equipment may consist of single or multiple-shaft tools having cutting and mixing blades of many different configurations. Peculiarities of this innovative method are the ability to rapidly form columnar elements in the ground by using limited amount of binder, generating almost no spoil material and very limited effects on near existing structures. This technique thanks to its innovative features well applies to the mitigation of geo-hazard such as instability phenomenon, flooding, subsidence, earthquake etc. Main areas of Soil Mixing applications are in fact foundation support, retention systems, ground treatment, liquefaction mitigation, hydraulic cut-off walls and environmental remediation. Case histories related to the main application groups are briefly presented in the paper. Moreover, the use of specific quality procedures allow a higher environmental and economic sustainability if compared to other traditional techniques. This aspect is synthetically presented in the paper through a life cycle analysis of the soil mixing works underling pro and cons of the technology. A specific section is lastly dedicated to the ongoing research and development activities carried out within international collaborations.

KEYWORDS: ground improvement, soil mixing, geo-hazard mitigation

1. Introduzione

Con il termine *Soil Mixing* vengono generalmente indicate le tecniche di consolidamento che consistono nell'inserimento nel terreno di un utensile rotante su cui sono calettate delle eliche e/o pale miscelatrici, che assicurano la

disgregazione del terreno ed il rimescolamento dello stesso con il legante inserito mediante appositi ugelli. Si viene a formare così un elemento (colonna, setto ecc.) di materiale che presenta caratteristiche di resistenza, deformabilità e permeabilità migliori del terreno circostante (Fig. 1).

Le tecniche di miscelazione in sito sono applicabili in un'ampia varietà di terreni, da quelli coesivi soffici a quelli sabbiosi-ghiaiosi moderatamente addensati, fino a profondità anche elevate.

Terreni organici quali torbe e 'fanghi' di dragaggio possono essere anche trattati ma con specifici studi sui leganti utilizzati e sulle procedure esecutive adottate. Particolarmente difficile risulta invece il trattamento di terreni molto consistenti o in presenza di clasti di dimensione caratteristica superiore ai 25-30 cm.

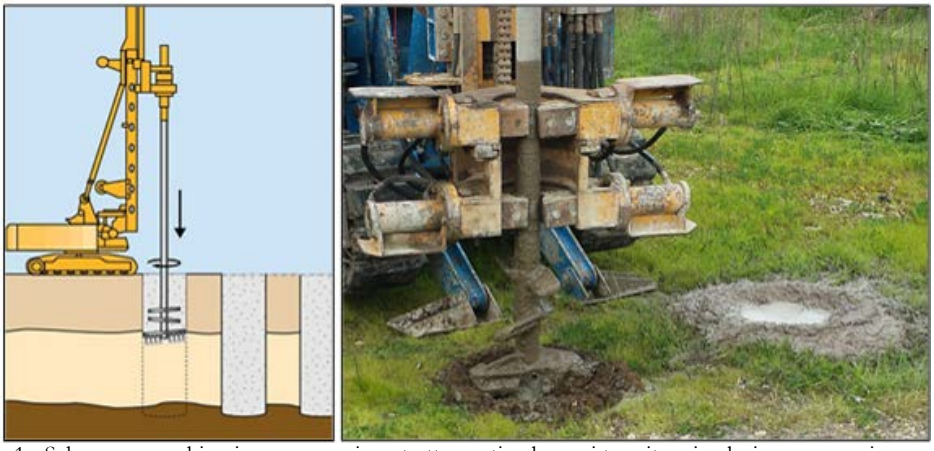

Fig. 1 - Schema e macchinario per esecuzione trattamenti colonnari tramite miscelazione meccanica.

Le proprietà meccaniche e fisiche dei terreni trattati mediante *Soil Mixing* non dipendono solamente dalla quantità e dal tipo di legante impiegato ma anche dal modo con cui questo è stato aggiunto e miscelato al terreno e dalle condizioni sito-specifiche di maturazione. Inoltre, anche le metodologie di prova (e.g. modalità confezionamento provini o prelievo campioni in sito) possono influire significativamente sulle caratteristiche finali misurate del terreno trattato.

I leganti principalmente utilizzati sono cemento e calce anche se spesso vengono usati in aggiunta o in sostituzione anche scorie di alto forno, gesso e altri prodotti secondari per favorire ed accelerare la presa oppure per migliorare le condizioni di lavorabilità in situazioni particolari. Per trattamenti ambientali invece i leganti sono sostituti con agenti chimici ossidanti o materiali reattivi per neutralizzare gli agenti inquinanti o comunque per permetterne una corret-

ta e duratura immobilizzazione delle sostanze indesiderate.

Queste innovative tecniche di miscelazione si prestano molto bene alla mitigazione dei principali geo-rischi presenti nella Bioregione Pontina tra cui fenomeni di instabilità, possibili allagamenti e subsidenza delle aree di bonifica.

2. La tecnologia

Il *Soil Mixing* può essere suddiviso in due metodi generali: il *Deep Mixing Method* (DMM) e lo *Shallow Mixing Method* (SMM). Entrambi i metodi sfruttano lo stesso principio di trattamento ma differiscono per modalità di inserimento del legante nel terreno, utensili e tipologia di miscelazione.

Il metodo più frequentemente utilizzato è il DMM: per trattamento dei terreni a partire da una profondità minima di 3 m (limite introdotto dalla EN 14679:2005). Il trattamento avviene attraverso aste di perforazione equipaggiate con diversi elementi per il taglio, la disgregazione e la miscelazione del terreno. Generalmente vengono prodotte a seconda della configurazione singola o multi-albero, colonne individuali o secanti di terreno consolidato. Esistono anche macchinari equipaggiati con specifici utensili miscelatori che permettono la realizzazione di pannelli o diaframmi continui. In alcuni casi inoltre, nei metodi cosiddetti ibridi, la miscelazione meccanica è intensificata attraverso l'iniezione ad elevata pressione dei leganti.

Il metodo complementare SSM è stato sviluppato principalmente per ridurre i costi di consolidamento di depositi superficiali poco consistenti e molto estesi (inclusi fanghi di dragaggio in vasche di colmata a terra e depositi organici con contenuti di acqua molto elevati). Questi metodi risultano anche particolarmente indicati per trattamenti di tipo ambientale di stabilizzazione/solidificazione di terreni contaminati. Il SSM è anche conosciuto sotto il nome di Stabilizzazione di Massa che può essere ottenuta attraverso macchinari simili a quelli utilizzati nel DMM (ovviamente con diametri molto più elevati o con configurazioni multi-albero per renderli economicamente vantaggiosi) oppure per trattamenti limitati ai primi 5-7 m di profondità attraverso più efficienti utensili miscelatori costituiti da tamburi rotanti ad asse orizzontale.

Nello schema riportato nella figura 2, tra quelle disponibili in letteratura, viene proposta una classificazione dei diversi metodi di *Soil Mixing* disponibili (adattata da TOPOLNICKI 2012). Tale classificazione si basa su quattro criteri generali: aggiunta di legante in forma secca o umida, miscelazione meccanica, ibrida o idraulica (*jet grouting*), posizione e asse di rotazione del/degli utensili

miscelatori.

In riferimento alla figura 2, il metodo più comunemente utilizzato è quello cosiddetto 'umido' (*wet method*) che consiste nella miscelazione in sito del terreno con una miscela fatta da acqua, legante ed eventualmente *fillers* e additivi.

L'attrezzatura è costituita da una macchina operatrice con una torre di perforazione costituita da una o più aste attrezzate con porzioni di spirale (terreni incoerenti) o lame (terreni coesivi). Ogni batteria termina con un utensile di perforazione provvisto di ugelli che consentono la fuoriuscita della malta cementizia necessaria. Il legante, gli additivi e l'acqua vengono stoccati in opportuni silos.

L'impianto di confezionamento e pompaggio del legante prevede un miscelatore per la realizzazione della miscela legante a partire dai materiali stoccati nei silos, un agitatore per lo stoccaggio temporaneo della miscela e un impianto di pompaggio per l'invio del legante alle batterie di perforazione e miscelazione. La quantità di legante immesso può essere modificata in tempo reale in funzione della tipologia di terreno incontrato.

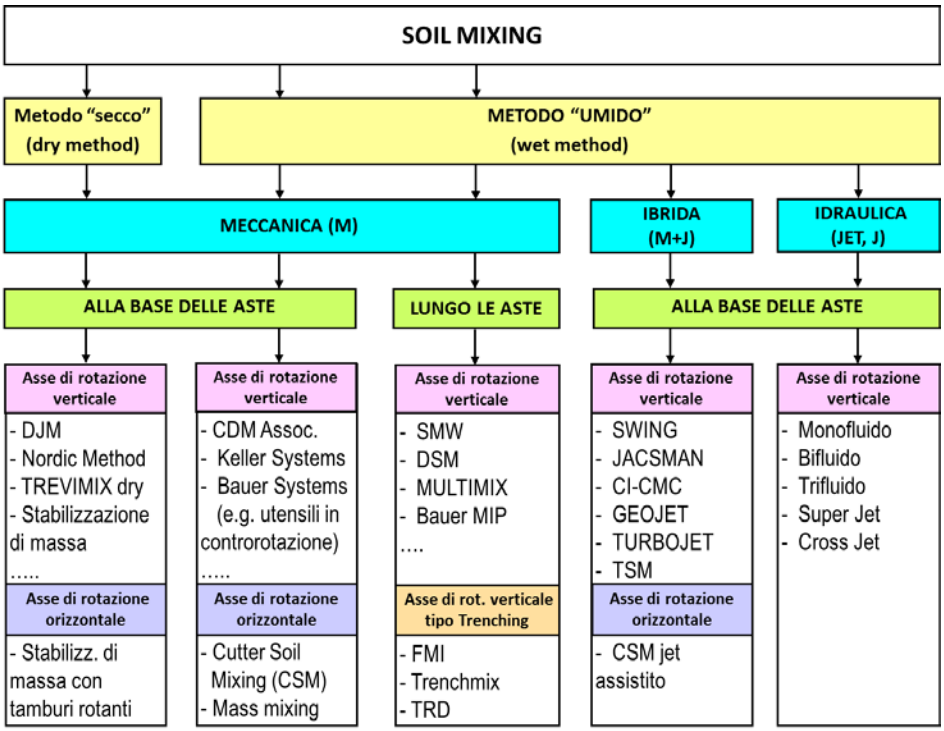

Fig. 2 - Classificazione *Soil Mixing* adattata da TOPOLNICKI 2012.

La miscela legante, nel metodo '*wet*', può essere immessa nel terreno durante le diverse fasi del trattamento. In particolare se l'immissione avviene sia in fase di penetrazione che di recupero (sistema mono-fase) si possono ottenere produttività maggiori del sistema bi-fase grazie alla possibilità di raggiungere maggiori velocità di risalita. Il sistema bi-fase prevede infatti l'impiego di un latte bentonitico in fase di penetrazione per agevolare l'inserimento delle aste miscelatrici e la successiva iniezione della malta cementizia e conseguente miscelazione solo in fase di recupero. L'immissione di miscela legante solo in fase di risalita garantisce d'altronde una maggiore sicurezza per trattamenti ad elevate profondità o in caso di interruzioni delle lavorazioni e talvolta risulta essere l'unico metodo praticabile in presenza di terreni consistenti (BRINGIOTTI 2010). Tra le molteplici attrezzature disponibili le più diffuse sono quelle con utensili miscelatori ad asse verticale di rotazione equipaggiate con albero singolo o multiplo al fine di aumentare la produttività dei trattamenti (Fig. 3).

Fig. 3 - Metodo *Wet*, configurazione a singolo albero (WEATHERBY 2012).

Sono stati inoltre recentemente sviluppati macchinari di dimensione ridotta ed utensili miscelatori innovativi per permettere l'esecuzione in sicurezza dei trattamenti di consolidamento in condizioni di difficile accessibilità e precarietà (Fig. 4).

3. Mitigazione geo-rischi

La Bioregione Pontina per formazione geologica e configurazione morfologica si configura come un ambiente complesso, fatto di relazioni e di sottili

equilibri, ricco ma allo stesso tempo con delle regole da rispettare o quanto meno da assecondare

Fig. 4 - Metodo *Wet,* macchinari di dimensione ridotta.

In tale quadro può essere individuata un'ampia varietà di possibili geo-rischi, meritevoli di attenzione ed attuali, che si estende dai fenomeni di instabilità, tipici delle aree morfologicamente elevate, ai possibili allagamenti delle zone pianeggianti, alla subsidenza delle aree di bonifica (Tab. 1). Ancor più complessi sono i noti fenomeni associati alla formazione dei *sinkhole*, le cui aree a maggior rischio vengono individuate a più riprese da diversi studi nelle località Doganella, Contrada Ciocco e Gricilli. Altri fattori di rischio sono sicuramente legati agli eventi sismici ai quali, apparentemente soltanto di recente, la Bioregione si è dimostrata soggetta. Storicamente infatti l'analisi della sismicità dell'area pontina faceva riferimento principalmente alla descrizione delle principali aree sismo-genetiche limitrofe ed agli effetti indotti nell'area stessa. Dal luglio del 2011 è emersa la necessità di valutare un quadro sismologico completamente nuovo ed inaspettato a seguito di un primo evento sismico di magnitudo 3.5 con epicentro situato in prossimità di Tor Tre Ponti, al quale sono seguiti una serie di eventi, circa una ventina a tutt'oggi, con magnitudo compresa tra 2.1 e 2.8. Due eventi ancor più severi sono stati registrati di recente, nei primi giorni del mese di febbraio 2017, al largo della costa in prossimità dell'isola di Ponza, contraddistinti da magnitudo 3.5 e 3.7.

Nel presente contributo, tra le varie problematiche evidenziate vengono rappresentate con maggior risalto le potenzialità della tecnologia per la mitigazione dei geo-rischi connessi con il rinforzo ed il consolidamento del patrimonio edilizio ed infrastrutturale esistente.

Si tratta di un argomento di notevole interesse tecnico-scientifico e di grande attualità nella realtà pontina, dove l'attenzione alle opere esistenti e l'impegno necessario per la loro conservazione e recupero assumono anche una forte valenza sociale, costituendo esse stesse una potenziale risorsa per uno sviluppo sostenibile di tutta l'area.

Nel recupero dell'esistente le scelte progettuali risultano spesso condiziona-

te da carenze intrinseche del sistema di fondazione che nel tempo danno luogo ad inconvenienti più o meno importanti (lesioni, presenza di umidità) fino a veri e propri dissesti in elevazione. Analoghi problemi possono riguardare anche opere idrauliche e manufatti parzialmente o completamente interrati.

Si tratta di problemi di ordine geotecnico ed ambientali assai comuni nella Bioregione Pontina, legati alla presenza di terreni prevalentemente argillosi di origine fluvio-lacustre e palustre e connessi con le fluttuazioni della falda idrica nel sottosuolo. In tale ambito, già di per sé complesso, un ulteriore aggravio è costituito anche dai possibili effetti indotti da eventi sismici sulle prestazioni dei sistemi di fondazione.

Nei casi più gravosi, interventi di rinforzo 'tradizionali', quali quelli di natura strutturale usualmente proposti e miranti a trasferire i carichi in profondità attribuendo una maggiore rigidezza complessiva al sistema di fondazione originario, possono essere molto invasivi comportando peraltro elevati costi complessivi, che spesso ne pregiudicano la realizzazione.

In tal senso, alcune innovative tecniche di consolidamento e miglioramento dei terreni basate sulla miscelazione con agenti leganti (*Soil mixing*) consentono interventi locali di rinforzo e consolidamento a scala diversa, sostituendosi utilmente ad applicazioni tradizionali di ingegneria geotecnica per rapidità di esecuzione, riduzione di impatto ambientale e costi.

Tab. 1 - Principali geo-rischi della Bioregione Pontina e possibili interventi di mitigazione.

Mitigazione dei geo-rischi	**Esempi di applicazione**
Fenomeni di instabilità	Stabilizzazione di versanti e scarpate
Allagamenti	*Consolidamento opere di sostegno*
Subsidenza	Presidio preesistenze
Terremoti	*Consolidamento argini*
	Schermi e tamponi idraulici
	Fondazioni di edifici esistenti e di nuova realizzazione

3.1. Trattamento a tergo di opere di sostegno

Le tecniche di miscelazione meccanica permettono la realizzazione in sicurezza di consolidamenti a tergo di opere di sostegno con il duplice obiettivo di rinforzo e potenziamento da un lato e di limitare le spinte e quindi le sollecitazioni agenti dall'altro (Fig. 5).

Per questa tipologia di applicazioni vengono generalmente adottate configurazioni geometriche a colonne affiancate o secanti con ottimizzazione del *mix-design* per ottenere elementi di terreno consolidati con elevate caratteristiche meccaniche. In alcuni casi, laddove ritenuto necessario è possibile inserire appena dopo l'esecuzione del trattamento (prima della 'presa' del legante)

elementi di arma tura metallica per incrementare il momento resistente degli elementi consolidati e realizzare veri e propri diaframmi di tipo strutturale.

Fig. 6 - Trattamenti eseguiti a Posillipo (Na) e Ventotene.

3.2. Rinforzi arginali e barriere idrauliche

Il paesaggio dell'Agro Pontino, cuore della bioregione, è caratterizzato da numerosi canali di bonifica che spesso risultano poco manutenuti e lasciati in uno stato di degrado. Diversi sono i punti di criticità per i quali sono previsti o da prevedere interventi di risanamento per aumentare la fruibilità delle rive dei corsi d'acqua (ad esempio con percorsi pedonali e.g. Via Francigena del Sud) o interferenze con le importanti infrastrutture viarie presenti. In tale quadro i rinforzi arginali e le barriere idrauliche si rendono spesso necessari per il raggiungimento degli obiettivi preposti da piani di gestione e sviluppo.

Tali interventi possono essere realizzati con facilità mediante le tecniche di *Soil Mixing* anche in presenza di terreni granulari molto permeabili o stratificati (alternanza di strati granulari e coesivi). Le applicazioni riguardano principalmente risanamento o miglioramento di strutture esistenti per far fronte ad esempio a nuove disposizioni normative o ad una mutata destinazione d'uso dell'argine dovuta ad esempio alla volontà di aumentarne fruibilità ed attrattività turistica. Esempi tipici di schemi tipologici di applicazione per argini in terra sono riportati in figura 6. Per queste applicazioni, vista l'importanza del valore della conducibilità idraulica e della continuità del diaframma, occorre prestare molta attenzione nella fase di progettazione delle miscele (che devono essere strettamente correlate all'effettiva stratigrafia e tipologia di terreni presenti) oltre che ad un adeguato controllo sulla verticalità e quindi sulle eventuali zone di sovrapposizione di pannelli/colonne adiacenti.

Il valore di riferimento della permeabilità teoricamente ottenibile (opinioni discordanti in letteratura) è tra 10^{-8} e 10^{-10} m/s.

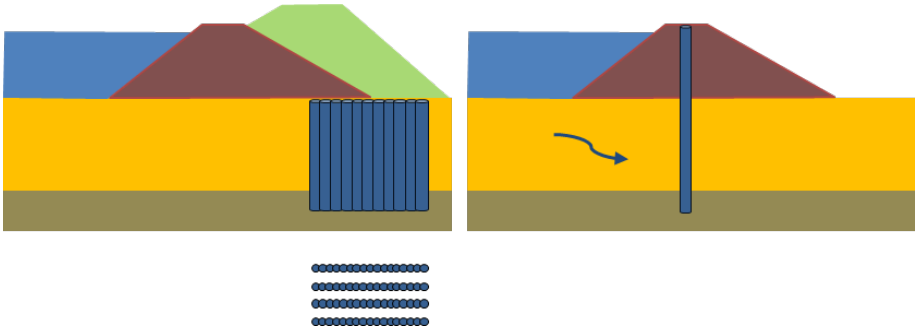

Fig. 6 - Schemi tipologici di rinforzi arginali e barriere idrauliche.

3.3. Interventi in fondazione per costruzioni esistenti

Il *Soil Mixing* viene frequentemente utilizzato per il consolidamento dei terreni di imposta di opere di ingegneria civile con lo scopo di ridurre l'entità dei cedimenti attesi e/o incrementare la capacità portante delle fondazioni. Generalmente vengono utilizzate colonne singole o combinazioni di colonne con diversi valori del rapporto di sostituzione per la riduzione dei cedimenti e per incrementare la risposta sismica delle fondazioni.

Per particolari applicazioni, quali sottofondazioni di edifici esistenti, sono stati sviluppati utensili miscelatori apribili (Fig. 7). Questi utensili, che sono caratterizzati da lame miscelatrici che possono essere dispiegate alla profondità desiderata grazie a sistemi meccanici o idraulici, permettono il trattamento del terreno attraverso fori di installazione di dimensioni ridotte (diametri di perforazione ordinari dai 150 ai 300 mm) rispetto a quelle del trattamento desiderato. Questa peculiare caratteristica permette il consolidamento dei terreni al di sotto di opere esistenti senza effetti pratici di risentimento dovuti a sovrappressioni indotte e con geometria del trattamento costante e certa (con diametri ottenibili con utensili ordinari tra 300 e 700 mm).

4. Sostenibilità della tecnologia

Al fine di far risaltare la sostenibilità delle tecnologie di miscelazione meccanica rispetto anche alle altre 'tradizionali' attualmente diffuse nella Bioregione Pontina, viene proposto in figura 8, uno schema rappresentativo del ciclo di vita di un trattamento di consolidamento dei terreni nell'economia circolare.
Come è possibile vedere dalla rappresentazione in figura 8, il *Soil Mixing*, utilizzando come materia prima da costruzione il terreno naturale presente in sito,

permette di abbattere drasticamente la quantità di risorse e materie prime in ingresso al ciclo.

A titolo di esempio, rispetto alla realizzazione di un palo trivellato classico, con questa tecnologia si riesce ad abbattere l'utilizzo del cemento fino addirittura al 90% in meno. Inoltre, possono essere utilizzati in sostituzione del cemento leganti eco-compatibili provenienti da scarti di altre lavorazioni.

Esecuzione di trattamenti colonnari con impiego di utensile apribile: utensile chiuso e aperto

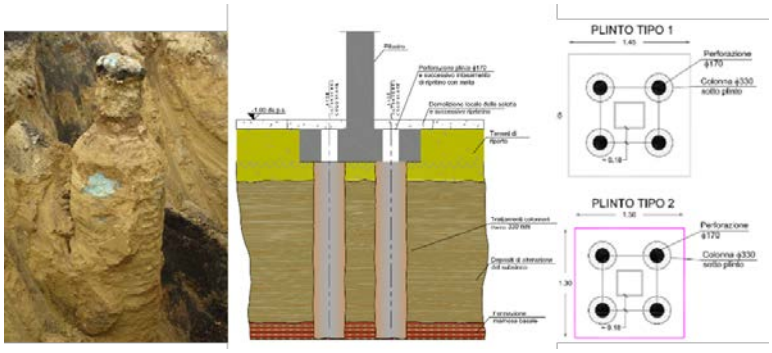

Fig. 7 - Miglioramento delle prestazioni in condizioni sismiche e riduzione cedimenti indotti.

Ulteriormente le peculiarità del processo esecutivo (miscelazione meccanica controllata con immissione a bassa pressione degli agenti leganti nel terreno con lo scopo di riempirne i vuoti e cementarne i grani) comportano da un lato la quasi totale assenza di materiali di risulta e dall'altro l'eliminazione di perdite incontrollate di miscele leganti nel sottosuolo.

I vantaggi sono notevoli, non solo in termini ambientali e quindi di inquinamento del sottosuolo ma anche tecnici dovuti alla minimizzazione degli effetti al contorno sulle opere e infrastrutture esistenti legati principalmente a

possibili fenomeni di assestamento (frequenti in caso di perforazione) o sollevamento (in caso di immissione in pressione di miscele leganti nel sottosuolo).

Alle ridotte quantità di materia prima necessaria e alla pratica assenza di materiali di risulta dalle lavorazioni è legata la minor movimentazione di materiali e quindi una minore produzione di CO_2 legata al trasporto su gomma con notevoli benefici sulla *carbon footprint* dell'intero intervento.

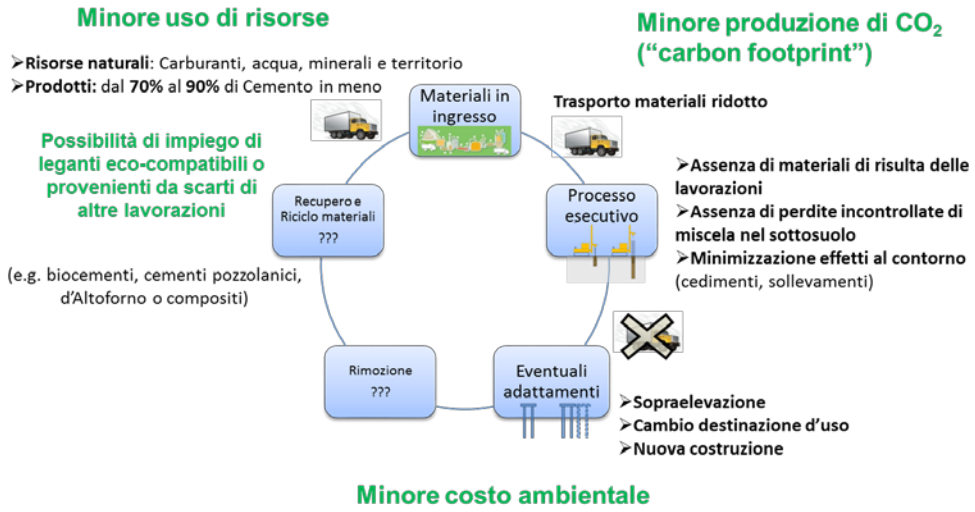

Fig. 8 - Economia circolare dei trattamenti di consolidamento dei terreni.

Questa tipologia di interventi si presta molto bene a futuri eventuali adattamenti relativi ad esempio a sopraelevazioni o cambi di destinazione d'uso delle strutture in elevazione. In tali casi infatti basterà intervenire infittendo opportunamente la maglia di trattamento.

Un aspetto difficilmente valutabile nell'ambito di interventi geotecnici sui terreni, ed in particolare delle realizzazioni di fondazioni profonde, riguarda la rimozione degli elementi formati nel sottosuolo, attività generalmente non prevista, o comunque richiesta ed economicamente motivabile soltanto in casi di eccezionale importanza.

In tale eventualità, comunque, la formazione di elementi colonnari in *Soil Mixing* permetterebbe un più semplice recupero e riciclo dei materiali utilizzati rispetto alle altre classiche tecnologie, ottenendo in modo più economico materie prime secondarie, quali ad esempio aggregati riciclati da utilizzare in altre applicazioni concernenti il settore edilizio o infrastrutturale.

5. Ricerca e sviluppo

La tecnica di miscelazione meccanica dei terreni consente ancora numerosi aspetti di innovazione e sviluppo legati principalmente ai leganti, agli utensili e ai controlli di qualità impiegati. Particolarmente rilevante in tale direzione risulta la spinta delle applicazioni innovative per la risoluzione di geo-rischi in modo maggiormente sostenibile, sempre più in linea con i criteri di economia circolare che consentono risparmio di risorse e diminuzione di impatto ambientale.

Un'ulteriore linea di sviluppo attualmente in corso riguarda un progetto di ricerca finalizzato a valutare gli effetti di attenuazione sismica su opere esistenti che possono essere indotti dalla presenza, nel terreno di imposta, di uno strato di terreno appositamente trattato con miscelazione meccanica.

Nella figura 9 vengono riportati a titolo di esempio alcuni risultati ottenuti da modelli fisici su tavola vibrante in assenza di trattamento e con trattamento costituito da diverse tipologie di miscele. I risultati mostrano sensibili riduzioni delle sollecitazioni sismiche in superficie a seguito del trattamento dei terreni in profondità, lasciando intravedere future possibili applicazioni.

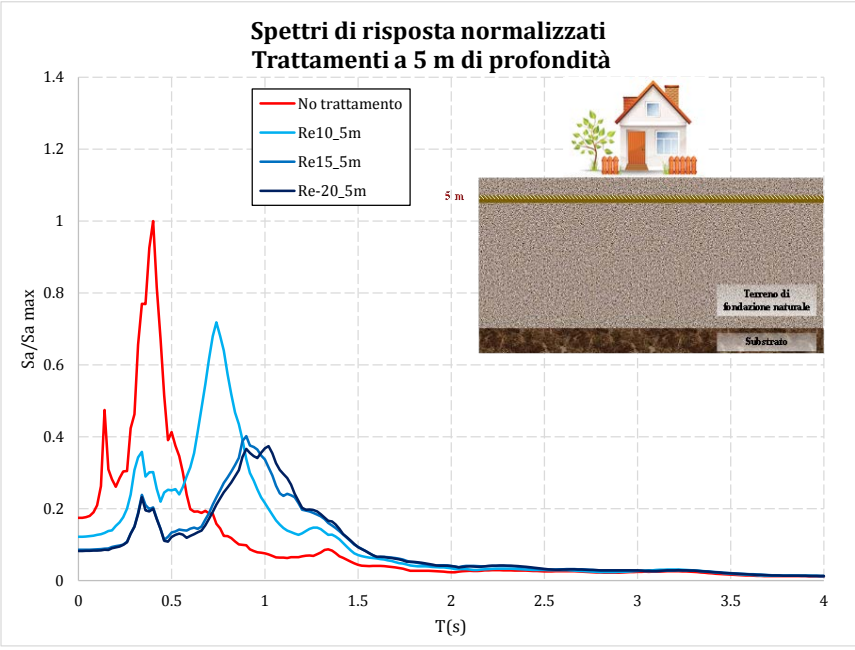

Fig. 9 - Risultati sperimentali in termini di spettro di risposta elastico.

6. Conclusioni

Le tecniche innovative di consolidamento dei terreni tipo *Soil Mixing* sono caratterizzate da bassa invasività e dal contenuto impatto ambientale.

Queste tecniche permettono la risoluzione di problemi di ingegneria civile nonché la mitigazione di geo-rischi tipici della Bioregione Pontina in maniera maggiormente sostenibile, se comparate alle più diffuse tecniche 'tradizionali'.

Tali assunzioni vengono ancor più evidenziate e confermate dall'analisi del ciclo di vita della tecnologia nell'ottica di una economia circolare ed autogoverno della bioregione.

In tale quadro il ruolo dell'università è quello non solo della ricerca scientifico-tecnologica e della formazione e sensibilizzazione di tecnici e imprese locali, ma anche di mettere a disposizione della collettività per un interesse comune il *know how* acquisito per una conservazione ed uno sviluppo del territorio ispirato a criteri etici di qualità e sostenibilità.

La promozione di sinergie con il tessuto locale delle imprese renderebbe infatti possibile l'accelerazione della ricerca e conseguentemente lo sviluppo e la commercializzazione di nuove applicazioni (e.g. per la mitigazione del rischio sismico) con tangibili ricadute sull'autosostenibilità della Bioregione.

Riferimenti bibliografici

AL-TABBAA, A., JIN, F., O'CONNOR, D., ABUNADA, Z. (2015), "Deep mixing field trials for land remediation: some 3-year results from the smirt project", Proceedings of the Deep Mixing 2015 Conference, San Francisco 2015.

BRINGIOTTI, M. (2010), *Geotecnica & macchine da perforazione. Metodologie ed innovazioni*, Edizioni PEI, Parma.

BRUCE, D. (2012), "The Deep Mixing Methods - background and history of usage in U.S. ", Deep soil mixing specialty short course, IV International Conference on Grouting and Deep Mixing, Marriott New Orleans, LA February 16-18, 2012.

FLERI, M., WHETSTONE, G. (2006), "In situ stabilisation/solidification: Project lifecycle", Journal of Hazardous Materials, Volume 141, Issue 2, 15 March 2007, Pages 441-456.

KITAZUME M., GRISOLIA M, LEDER E., MARZANO I.P., ALBERTO A.S. VENDA OLIVEIRA P.J., ÅHNBERG H., ANDERSSON M. (2015), "Applicability of molding procedures in laboratory mix tests for quality control and assurance of the deep mixing method", Soils and Foundations. Vol. 55, No. 4. pp. 761-777.

MARZANO I.P. (2009), *La tecnica del Soil Mixing per la cinturazione di siti contaminati*, Tesi di Dottorato, Sapienza Università di Roma.

MARZANO I.P. (2017), *Soil Mixing - Tecnologie esecutive, applicazioni, progetto e controlli*, Edizioni Hevelius, Benevento.

PANETTA G., IORIO G., MARZANO I.P., GRISOLIA M. (2017), "Soil mixing for passive seismic protection system", Grouting 2017, Grouting, Deep Mixing, and Diaphragm Walls. Honolulu, Hawaii.

TOPOLNICKI, M. (2012), "General overview", Deep Mixing Short Course, International Symposium on Recent Research, Advances & Execution Aspects of Ground Improvement Works, Brussels, Belgium 30 Maggio - 1 Giugno, 2012.

Il riciclo meccanico dei rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche: una sfida tecnologica

Giuseppe Bonifazi, Riccardo Gasbarrone, Silvia Serranti

Abstract

MECHANICAL RECYCLING OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC DEVICES: A TECHNOLOGICAL CHALLENGE. Due to the technological progress, electronics became more and more part of our lifestyle. Alongside the continuous progress, the volume of electric and electronic waste (WEEE) steady arising. The WEEE, because of a large number of hazardous substances in various equipment, such as lead in printed circuit boards and cadmium in semiconductor chips, could cause serious environmental problems if not properly handled at the end of their life cycle (i.e. recycling and/or disposed-off). However, a significant amount of valuable materials is contained in WEEE, such as metals, high-quality plastic and other materials/elements that can be profitably recovered. WEEE recycling is considered a real opportunity for contrasting an inbound threat for the Industry and for the Environment. For these reasons it is thus essential to improve the WEEE recycling process, both from an economic and an environmental point of view. These two goals can be reached adopting new, and up-to-date, processing/recycling strategies based on innovative technologies allowing to implement more environmentally friendly and economically sustainable processing.

KEYWORDS: waste electrical and electronic equipment (WEEE), recycle, mechanical treatment, quality control.

1. La sfida dei rifiuti elettronici

L'elettronica è ormai diventata, grazie al continuo progresso tecnologico, parte integrante nella nostra vita e la ritroviamo in molti oggetti di uso quotidiano, si pensi ad esempio a televisori LCD, agli smartphone, alle macchine fotografiche digitali, agli elettrodomestici, alle autovetture, ecc. Tali prodotti hanno contribuito e tuttora continuano a contribuire al miglioramento del nostro tenore di vita e al nostro benessere.

Il settore dell'industria elettronica è considerevolmente cresciuto negli ultimi anni, generando un gran numero di posti di lavoro, promuovendo lo sviluppo di nuove tecnologie e allo stesso tempo, richiedendo una elevata domanda di materie prime, alcune di esse scarse, di difficile reperimento o addirittura rare.

Di pari passo con il continuo progresso tecnologico, si è altresì accresciuto il volume di rifiuti di apparecchiature elettriche od elettroniche guaste, inutilizzate, o obsolete: i cosiddetti RAEE (i.e. rifiuti da apparecchiature elettriche ed elettroniche). Alcune stime indicano che annualmente sono generate circa 40 milioni di tonnellate di rifiuti elettronici, che sono all'incirca il 5% dei rifiuti solidi presenti nel mondo. Uno studio effettuato da Greenpeace ha stimato che nel mondo, annualmente, sono generati tra le 20 e le 50 milioni di tonnellate di rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (VEIT ET AL. 2015).

Nella sola Unione Europea, nel 2005 sono stati prodotti 8,3 – 9,1 milioni di tonnellate di RAEE. Spesse volte tali apparecchiature giunte a fine vita vengono trattate in modo non corretto: attualmente circa il 90% dei RAEE viene portato in discarica, incenerito oppure recuperato senza alcun pre-trattamento.

I RAEE, in relazione all'elevato numero di sostanze pericolose presenti, come il piombo nelle schede dei circuiti stampati ed il cadmio nei chip semiconduttori, possono essere fonte, se non adeguatamente riciclati o smaltiti, di gravi problemi ambientali. D'altro canto essi contengono quantità significative di materiali pregiati, come metalli, circa il 66% (rame, piombo, ferro, alluminio e zinco), metalli preziosi (i.e. oro, platino, palladio e argento), materiali plastici di alta qualità (19%) ed altri componenti (i.e. terre rare) che, per caratteristiche e composizione, possono essere proficuamente recuperati e riutilizzati. Per queste ragioni è di estrema importanza lo sviluppo e l'applicazione di adeguate strategie di trattamento finalizzate al raggiungimento di obiettivi positivi sia in termini ambientali che economici. Tali obiettivi non possono che essere raggiunti attraverso l'implementazione di processi di riciclo ecocompatibili ed economicamente sostenibili e che partano da una caratterizzazione attenta ed approfondita dei "costituenti" di tale tipologie di prodotti (HU ET AL. 2011).

2. La gestione dei RAEE

Affrontare una qualunque problematica di riciclo di prodotti e/o materiali significa, in prima battuta, operare una valutazione, sia qualitativa che quantitativa, dei flussi in alimentazione ai potenziali processi di recupero e/o di riciclo, nonché il quadro normativo di riferimento all'interno del quale dover operare. Entrambi questi aspetti ben si collocano all'interno del concetto di bioregione,

intesa come luogo nel quale vengono consumati dei beni, in questo caso i RAEE, il cui recupero deve essere realizzato nel rispetto di politiche ambientali e sociali in grado di chiudere in maniera efficiente e virtuosa il ciclo di tale tipologia di rifiuti.

2.1 La produzione dei RAEE

Uno studio effettuato dal Centro Coordinamento RAEE nel 2015 (CENTRO COORDINAMENTO RAEE 2015) ha stimato la produzione annuale pro-capite di rifiuti RAEE pari a 12 kg. Questo significa che annualmente in Italia si producono circa settecentomila tonnellate di RAEE. Tale cifra è destinata a crescere nei prossimi anni, in relazione alla continua ed inesorabile commercializzazione di nuovi prodotti elettronici (si pensi ai televisori, cellulari e computer di nuova generazione) con sempre migliori caratteristiche e prestazioni. Il ciclo di vita di molti prodotti elettronici si è notevolmente ridotto, ciò in relazione ai sempre maggiori avanzamenti dell'industria elettronica dal punto di vista delle tecnologie di produzione, dei design più appetibili per i consumatori, per motivi di marketing e di compatibilità. A titolo di esempio, il ciclo di vita medio di un computer nuovo è passato da 4.5 anni nel 1992 a 2 anni nel 2005 e sta ulteriormente decrescendo (CENTRO COORDINAMENTO RAEE 2015).

A fronte del continuo aumento di rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche è stato sviluppato un vasto quadro normativo, a partire dalla raccolta fino al recupero di materiali o al loro smaltimento in discarica.

In Europa, un gran numero di documenti legislativi sono stati redatti e / o implementati prevedendo che i produttori e le altre parti interessate avrebbero adottato un approccio ambientale al design, valutando nel contempo l'impatto ambientale dei loro prodotti nell'intero ciclo di vita. I rifiuti elettronici sono regolamentati dalla Direttiva WEEE, ovvero *"Waste of electric and electronic equipment*", recepita in Italia dal Decreto "RAEE" (EUR-LEX, 2017). La Direttiva a livello europeo, che è stata emanata nel 2002, ha imposto ai Paesi dell'Unione la raccolta differenziata di questa particolare categoria di rifiuti, definendo come obiettivo al 31 dicembre 2015 che il tasso medio di raccolta differenziata fosse di almeno 4 kg l'anno per abitante relativamente ai RAEE provenienti dai nuclei domestici (LONGONI, 2015). Dal 2016, con la Direttiva RAEE (direttiva 2012/19/UE), l'obiettivo di raccolta è stato impostato pari al 45% calcolato sulla base del peso totale di RAEE raccolti in un dato anno dallo Stato membro interessato ed espresso come percentuale del peso medio delle apparecchiature elettriche ed elettroniche (AEE) immesse sul mercato in detto Stato membro nei tre anni precedenti e del 65% dell'immesso (Tab. 1), calcolato con lo stesso criterio, a partire dal 2019 (EUR-LEX 2017; SALVI 2010).

Tab. 1 - Dati relativi a raccolta e a volume immesso si apparecchiature elettriche ed elettroniche (AEE) di Italia, Francia e Germania (Fonte: CENTRI DI COORDINAMENTO RAEE, 2015).

		Quantitativo Immesso		Quantitativo Raccolto		
	Popolazione	Tons	kg pro capite	Tons	kg pro capite	Raccolto vs Immesso
Italia	60782668	716835	11,79	250780	4,13	0,35
Francia	66917964	1391333	20,79	526855	7,87	0,38
Germania	81200000	1413479	17,41	574674	7,08	0,41
Inghilterra	64597000	1457354	22,56	505854	7,83	0,35

2.2 La situazione in Europa

Prima di prendere in esame la raccolta dei RAEE in Italia, è interessante fornire qualche dato circa il quantitativo di AEE immesse in media annualmente sul mercato in alcuni paesi europei. Tenendo conto delle differenze socio-culturali e della numerosità della popolazione, si evince che il quantitativo in Kg di AEE immesse dichiarati da Francia e Inghilterra siano poco meno del doppio del quantitativo dell'Italia. Gli AEE immessi dichiarati dalla Germania sono superiori del 50% rispetto a quelli dell'Italia. Per quanto riguarda la raccolta pro-capite (2014), l'Italia con i suoi 4,13 kg/ab risulta essere notevolmente al di sotto della media rispetto a Francia (7,87 kg/ab), Inghilterra (7,83 kg/ab) e Germania (7,08 kg/ab). Considerando il target fissato per il 2016, ovvero il 45% delle AEE immesse sul mercato, si ha che l'Italia continua ancora ad essere lontana dall'obiettivo europeo con circa il 35%, pari all'Inghilterra, dato che risulta inferiore rispetto a quello della Francia (38%) e della Germania (41%).

L'Europa, nei riguardi della produzione di RAEE, può essere considerata come un insieme di macro-bioregioni (i.e. scala nazionale), ciascuna caratterizzata da specifici attributi economici, politici, ambientali e territoriali. Tali attributi, definibili a livello di macro scala, sono a loro volta la risultante prodotta dalle diverse bioregioni, definibili e/o individuabili, all'interno del singolo paese europeo. Seguendo tale approccio risulta chiara la difficoltà di produrre regole di validità generale (i.e. leggi e/o direttive europee) per la gestione dei rifiuti da apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE) e che possano altresì contribuire a generare comportamenti condivisi nei diversi paesi, al fine di perseguire obiettivi di auto-sostenibilità, di "*self-reliance growth*" e di miglioramento della qualità ambientale, in relazione ai diversi ambiti territoriali, alle diverse culture ed ai diversi contesti ambientali.

2.3 La situazione in Italia

In Italia i RAEE vengono gestiti dai Sistemi Collettivi, che sono obbligatori e riuniscono i produttori e gli importatori di tali apparecchiature. Se si effettua un confronto tra i dati provenienti dagli impianti di trattamento e quelli forniti dai Sistemi Collettivi (CENTRO COORDINAMENTO RAEE 2015), si possono effettuare alcune considerazioni sulla presenza di flussi di RAEE che giungono direttamente agli impianti di trattamento senza avvalersi del sistema organizzato dal Centro di Coordinamento RAEE (LONGONI, 2015) (Tab. 2).

Da alcune stime si evince che esistono quantitativi non tracciati da parte degli impianti autorizzati che sfuggono al sistema di gestione regolato dalla legge e vanno ad alimentare il traffico illegale dei rifiuti. Il quantitativo stimato è di circa 500.000 tonnellate: una vera e propria fonte di inquinamento ambientale e di distorsione economica (CENTRO COORDINAMENTO RAEE 2015). Per quanto riguarda il trattamento, la migliore strada per gestire questi rifiuti è quella che persegue il recupero ed il riciclo dei materiali presenti al loro interno.

Tab. 2 – Raccolta RAEE in Italia, secondo i cinque raggruppamenti (Fonte: CENTRI DI COORDINAMENTO RAEE 2015).

Raggruppamento	Raccolta 2013 [kg]	Raccolta 2014 [kg]	Raccolta 2015 [kg]	Raccolta 2015 vs Raccolta 2014
R1 Freddo e Clima (frigoriferi, condizionatori, congelatori, ecc.)	62158612	64024226	70415437	0,0998
R2 Grandi bianchi (lavatrici, lavastoviglie, cappe, forni, ecc.)	56156357	57949079	68767964	0,1867
R3 TV e monitor (televisori e schermi a tubo catodico, LCD o al plasma, ecc.)	68879875	68512035	65181725	-0,0486
R4 Piccoli elettrodomestici (telefonini, computer, stampanti, giochi elettronici, apparecchi illuminanti, ventilatori ecc.)	37620439	39957152	43439076	0,0871
R5 Sorgenti luminose (lampadine a basso consumo, lampade al neon, lampade fluorescenti, ecc.)	1115935	1274539	1449714	0,1374
Totale	225931218	231717031	249253916	0,0757

La composizione chimico-fisica di un RAEE è estremamente varia. Essa è fortemente influenzata dal tipo di apparecchiatura, dall'anno di produzione, dall'azienda manifatturiera, dal paese d'origine, ecc. Polimeri, ceramiche e metalli possono essere recuperati dai RAEE. I metalli, in relazione al loro valore

economico, sono quelli che suscitano maggiore interesse. Essi sono presenti n varie quantità, in forma pura o in lega. Le schede dei circuiti stampati sono i componenti di maggiore interesse in quanto vengono considerate delle vere e proprie materie prime secondarie, poiché ricche di rame e metalli preziosi come oro, argento, e palladio. Per esempio, un singolo cellulare può contenere elevate concentrazioni di oro (24 mg), argento (250 mg) e palladio (9 mg). (VEIT ET AL. 2015). Va comunque tenuto presente che ai valori analitici degli elementi presenti in un certo RAEE non sempre è associabile una pari capacità di recupero, in termini di processi applicabili, sia in relazione ai costi, che ad aspetti di tipo chimico-fisico che, di fatto, ne ostacolano l'estrazione e la successiva separazione.

Una categoria abbastanza problematica dei RAEE, soprattutto dal punto di vista del trattamento è rappresentata dai piccoli elettrodomestici (Categoria R4). Per tale categoria è possibile rilevare come la raccolta al 2015, si sia attestata intorno ad un valore di circa 44 milioni di chilogrammi (Tab. 2) e rappresenta il 17,43%. Quantitativo minore rispetto alle altre categorie, non considerando la categoria relativa alle sorgenti luminose. Per interpretare tali dati è però necessario effettuare alcune considerazioni. La raccolta dei RAEE non avviene in modo omogeneo per ciascun Raggruppamento. Ciò dipende dal comportamento del cittadino e dalla tipologia di AEE. Il tasso di ritorno per il Raggruppamento 4 (Piccoli Elettrodomestici) risulta essere il più basso in assoluto tra tutte le tipologie di RAEE, con un tasso pari al 14,60% (Tab. 3). Il valore di questo dato è influenzato dal fatto che spesso a causa delle ridotte dimensioni (i.e. telefoni cellulari), le apparecchiature malfunzionanti appartenenti a tale Raggruppamento vengono gettate in contenitori per la raccolta indifferenziata oppure tenute in casa anche dopo la loro sostituzione (CENTRO COORDINAMENTO RAEE 2015).

Tab. 3 – Raccolta ed immesso per i raggruppamenti R1, R2 e R3 (Fonte: CENTRI DI COORDINAMENTO RAEE 2015).

	R1 - Freddo e Clima	R2 - Grandi bianchi	R4 - Piccoli elettrodomestici
Immesso [kg]	161887412	288111966	297521662
Raccolta [kg]	70415437	68767964	43439076
Tasso	0,44	0,24	0,15

2.4 La situazione nel Lazio

In Italia i Centri di Raccolta (CdR) sono realizzati e gestiti dai Comuni e dalle Aziende abilitate alla gestione dei RAEE. Tutti i Cittadini possono

consegnare gratuitamente i RAEE domestici presso i CdR.

Nel Lazio, secondo le statistiche sono presenti circa 126 Comuni con centri di raccolta RAEE. Tali centri sono distribuiti prevalentemente nella provincia di Roma e Viterbo. In provincia di Latina il numero dei CdR è pari a 23 (Tab. 4). I Comuni con CdR in Provincia di Latina sono 18 (COMUNIVERSO 2017), mentre nell'areale della bioregione pontina (comprese le zone di transizione) sono racchiusi 15 Comuni con CdR. Nel 2015, a confronto con gli anni passati, la Regione Lazio mantiene il secondo posto per raccolta complessiva nell'area del Centro Italia, totalizzando 17.183.711 kg di RAEE. Il dato di raccolta maggiore è rappresentato dalla Provincia di Roma, a cui seguono Viterbo e Latina con oltre 1 milione di kg di RAEE. Diversamente, Frosinone e Rieti sono ancora distanti dalla media nazionale di raccolta (Tab. 5 e Fig. 1).

Tab. 4 - Numero dei Centri di Raccolta per provincia nella regione Lazio (Fonte: CENTRI DI COORDINAMENTO RAEE 2015).

Provincia	CdR (Centri di Raccolta)	CdC (altri Centri di Conferimento)	Totale
Frosinone	27	1	28
Latina	23	5	28
Rieti	13	0	13
Roma	81	30	111
Viterbo	42	0	42
Totale	186	36	222

Tab. 5 - Dati relativi la raccolta RAEE per raggruppamenti nel Lazio (Fonte: CENTRI DI COORDINAMENTO RAEE, 2015).

	Raccolta [kg]					
Provincia	R1 (Freddo e clima)	R2 (Grandi bianchi)	R3 (TV e monitor)	R4 (Piccoli elettro-domestici)	R5 (Sorgenti luminose)	Totale complessivo
Frosinone	344352	50256	397883	91844	4952	889287
Latina	466650	193789	476680	176127	7980	1321226
Rieti	141473	100120	160190	56765	930	459478
Roma	3676300	3956936	3401314	1857176	79859	12971585
Viterbo	486730	197187	599788	251955	6475	1542135
Totale	5115505	4498288	5035855	2433867	100196	17183711

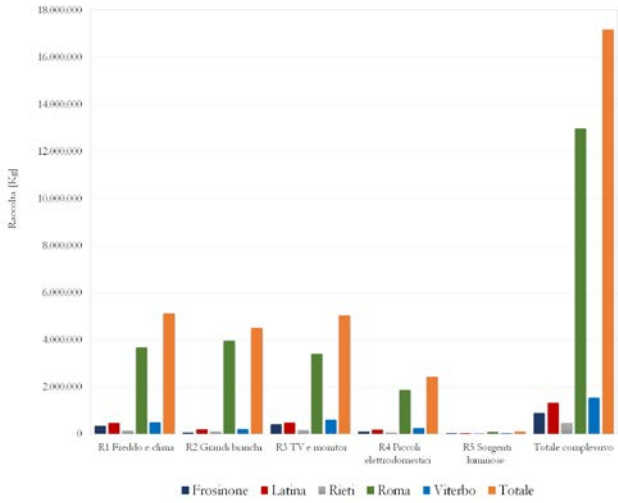

Fig. 1 - Raccolta RAEE per raggruppamenti nel Lazio (Fonte: CENTRO DI COORDINAMENTO RAEE 2015).

Altro dato importante da prendere in considerazione è quello riguardante la media regionale di raccolta pro capite, che è di circa 2,92 kg per abitante: valore molto inferiore rispetto alla media nazionale, che si attesta attorno ai 4,13 kg per abitante (Tab. 6).

Per quanto riguarda gli impianti di trattamento, i Sistemi Collettivi, ai fini del trattamento dei RAEE di loro competenza, hanno l'obbligo di rivolgersi ai soli impianti accreditati (CENTRO COORDINAMENTO RAEE 2015).

Tab. 6 - Dati regionali sulla raccolta RAEE (Fonte: CENTRO DI COORDINAMENTO RAEE 2015).

Totale kg RAEE raccolti:	17.183.711
Media pro capite (kg/ab):	2,92
Variazione raccolta 2015/2014:	11,84%
Popolazione totale:	5.892.425
Centri di Raccolta:	186
Altri centri:	36
Centri di conferimento / 100.000 ab.:	3

Nel centro Italia ci sono circa 121 impianti, aventi una capacità di recupero di circa 1,9 Mton all'anno, ove si effettuano attività di recupero e riciclo di metalli (autodemolitori, rottamazione, RAEE) e 28 impianti, con capacità di circa 0,49 Mton. Gli impianti registrati nella provincia di Latina sono otto, mentre sul territorio della Bioregione Pontina sono presenti sette impianti

registrati. Gli impianti per i quali è stata rilascita da parte di un soggetto di riconosciuta autorità una attestazione della capacità di operare in un determinato contesto sociale (i.e. impianti accreditati) sono sul terrritorio 2 (Fig.2).

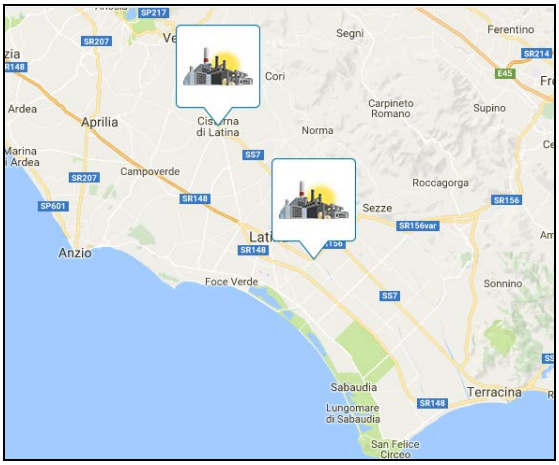

Fig. 2 - Impianti accreditati sul territorio dell'Agro Pontino (Fonte: CENTRO DI COORDINAMENTO RAEE 2017).

3. L'importanza del trattamento meccanico

Il trattamento dei RAEE, finalizzato prevalentemente al recupero delle frazioni di metalli nobili, è solitamente articolato in una prima fase di trattamento meccanico, una seconda fase di trattamento termico ed una terza fase di trattamento chimico ad umido (lisciviazione) dei prodotti (ceneri) risultanti dalla combustione. In taluni casi dopo il trattamento meccanico si applicano direttamente processi di lisciviazione.

Il trattamento meccanico può essere di fatto considerato come una prima fase di separazione. Esso fa ricorso alle tecniche di trattamento solitamente utilizzate nell'industria delle materie prime (i.e. grezzi minerali). Questa tipologia di valorizzazione può essere vista come un pretrattamento (i.e. preconcentrazione) finalizzato alla separazione dei materiali di interesse. Di questo processo fanno parte: la comminuzione, la classificazione e la separazione. La frazione metallica ottenuta dopo la fase di lavorazione meccanica viene inviata ad una linea di trattamento idro-metallurgico, elettrometallurgico e/o pirometallurgico. Mentre, le frazioni ceramiche e polimeriche vengono inviate a linee di trattamento specifiche (VEIT 2015, pp. 13-16) (Fig.3).

Fig. 3 - Esempio di un campione di RAEE (i.e. particelle comprese nell'intervallo dimensionale tra 2 e 0.5 mm) risultante da azioni di comminuzione e successiva classificazione.

L'introduzione di un trattamento meccanico applicato in maniera sistematica ai RAEE rappresenta un aspetto importante, soprattutto in un'ottica di valorizzazione di questa tipologia di prodotti legata a specifiche peculiarità territoriali. I RAEE prodotti in una grande città sono diversi, sia in termini di qualità che di quantità, da quelli prodotti in aree agricole e/o industriali e, con riferimento a quest'ultime, in relazione alle tipologie di produzione degli impianti. Su tali basi si possono definire, come già in parte evidenziato, delle bioregioni la cui peculiarità è rappresentata dal tipo di RAEE prodotti e dalle modalità con le quali avviene la loro "pre-concentrazione meccanica".

L'applicazione di logiche comuni e condivise di trattamento meccanico, finalizzato all'ottenimento di prodotti pre-concentrati da avviare alle successive fasi di trattamento termico e/o chimico, consente di stabilire relazioni tra i diversi ambiti territoriali e di definire logiche operative comuni tecnologicamente integrate. Ciò si traduce nel produrre processi auto-sostenibili e nello sviluppare sistemi di imprenditorialità diffusa generata in un'ottica di reciprocità (i.e. processi meccanici diversi associati a diversi flussi di alimentazione che generano prodotti finali diversi) legati alla necessità di integrare i prodotti finali in maniera tale da generare flussi costanti di prodotti di qualità, sia in termini quantitativi che qualitativi, da avviare al recupero definitivo.

3.1 La pre-concentrazione meccanica

Il riciclo meccanico dei RAEE è importante, sia da un punto di vista strettamente economico che energetico, soprattutto se finalizzato alla realizzazione di pre-concentrati aventi caratteristiche di composizione ed attributi morfologi-

ci e morfometrici diversi, per i quali è necessario mettere a punto specifiche azioni di trattamento chimico-fisico. Un tale approccio produce, come risultato, azioni di trattamento idro-metallurgico, elettro-metallurgico e piro-metallurgico più efficienti e concorrenti all'ottenimento di maggiori recuperi e minori impatti ambientali legati al processo.

Il trattamento finalizzato alla pre-concentrazione meccanica dei flussi, se confrontato con i processi chimici applicati "tout court", risulta quindi essere una soluzione di tipo *eco friendly*, grazie ad un uso più specifico e sicuramente in quantitativi ridotti, di sostanze chimiche, per i cui prodotti di scarto deve comunque essere effettuato lo smaltimento, con inevitabili costi ed impatti ambientali.

3.2 La caratterizzazione dei RAEE

Una caratterizzazione approfondita dei RAEE rappresenta il primo passo da sviluppare al fine di rilevare le possibilità di recupero di un metallo *target* (VEIT E MOURA BERNARDES 2015).

A partire da una caratterizzazione approfondita e di tipo *recyling oriented* del materiale, si può perseguire l'ottimizzazione dell'intero sistema del processo di riciclo. L'obiettivo della caratterizzazione è, infatti, proprio quello di indagare le caratteristiche fisiche, chimiche e morfologiche del prodotto in esame, al fine di scegliere la strada più adatta ai fini del recupero. Diverse ed articolate possono essere le tecniche e le strategie di caratterizzazione cui fare ricorso.

Tramite analisi di immagini acquisite con stereo microscopio digitale si può effettuare lo studio della forma delle particelle costituenti il campione da analizzare, attributi questi che influenzano la scelta delle condizioni di separazione da utilizzare a parità di processo.

La conduzione di analisi granulometriche sui prodotti della comminuzione, con o senza il supporto di indagini microscopiche quali quelle citate, può fornire utili indicazioni ai fini della pre-concentrazione fisica o per l'utilizzo di tecniche di lisciviazione chimica.

La composizione dei materiali, e dei loro attributi tessiturali, possono essere acquisite mediante tecniche innovative basate su analisi di immagine iperspettrale (HSI) (SERRANTI ET AL. 2010, combinate con tecniche chemiometriche, integrate da analisi alla spettroscopia Raman, alle fluorescenza X (XRF) o utilizzando tecniche ai raggi X, sia di tipo classico (microscopia elettronica e micro-analisi), che innovativo quale la *Dual Energy X-ray Transmission* (DE-XRT)(WIRTH 2011; BRUKER CORPORATION 2016a; BRUKER CORPORATION 2016b).

3.3 La scelta della strategia di pre-concentrazione meccanica

A seconda delle caratteristiche del materiale in esame e del materiale *target* si sceglierà la tecnica di concentrazione meccanica più adatta. Esempio, un separatore elettrostatico o a correnti parassite, consentirebbe la concentrazione di metalli non ferrosi (HU ET AL. 2011; RAMACHANDRA E RAO 2006; KASPER ET AL. 2015). I separatori magnetici consentono un'ottima soluzione per separare particelle ferrose, quando queste ultime sono presenti (RAMACHANDRA E RAO 2006).

Accanto a tecnologie classiche di separazione, quali quelle citate, possono essere impiegate altre innovative quali il *Magnetic Density Separator* (MDS) (Fig. 4). Tale sistema di separazione per densità sfrutta il Principio di Archimede applicato ai ferro-fluidi. Esso utilizza, come mezzo di separazione, una torbida costituita da H_2O e particelle di Ferro-Silicio sferulizzato aventi una dimensione tra i 10 nm ed i 20 nm. Tale fluido, se sottoposto ad un campo magnetico generato grazie all'ausilio di un magnete permanente, produce un gradiente di densità apparente lungo l'altezza stessa del fluido (HU ET AL. 2011). Grazie a questo sistema, si è in grado di concentrare diversi materiali, partendo da una miscela multi-materiale con granulometria omogenea per densità, come ad esempio metalli, plastiche, vetro ed altro.

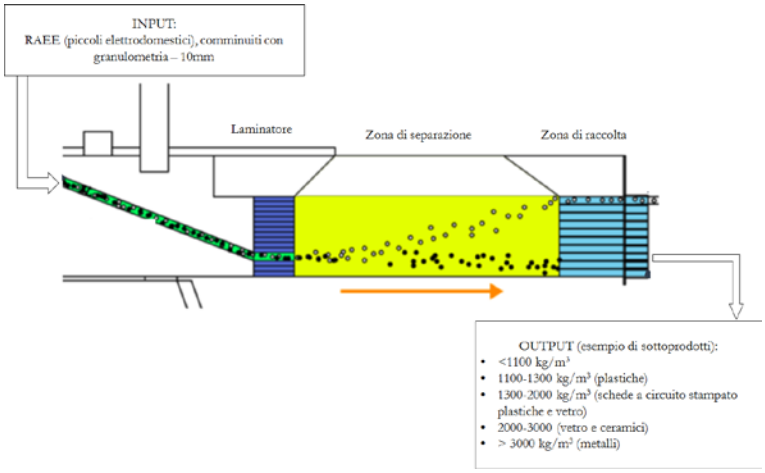

Fig. 4 – Schema di un separatore MDS (adattato da HU ET AL. 2010).

Gli studi sin qui condotti (BAKKER ET AL. 2010; HU ET AL. 2010; HU ET AL. 2011) hanno dimostrato che utilizzando la separazione mediante MDS su schede elettroniche e fili comminuiti (con una dimensione media di 8 mm) è possibile ottenere elevati tassi di recupero (fino al 90 %) nel *sink* (materiale af-

fondato) per quanto riguarda la frazione non-ferrosa pesante.

Nei prodotti di tale separatore, nonostante l'elevata efficienza del processo, continuano però ad essere presenti piccole frazioni di metalli di interesse ed impurità quali plastiche, vetro e talvolta legno.

Nasce quindi la necessità di associare al processo di separazione un sistema di analisi efficace, implementabile in linea, che sia in grado di qualificare i prodotti della separazione, nello specifico, quello realizzato attraverso l'MDS.

Il gruppo di ricerca di Ingegneria delle Materie Prime dell'Università di Roma - La Sapienza dal 2011 al 2014 ha sviluppato, nell'ambito di un progetto europeo (Collaborative Project 212782 - FP7-ENV-2007-1: W2Plastics "*Magnetic Sorting and Ultrasound Sensor Technologies for Production of High Purity Secondary Polyolefins from Waste*"), congiuntamente con l'Università TUDelft (Olanda), un'architettura integrata hardware e software in grado di controllare la qualità dei prodotti attraverso un approccio di tipo ottico-digitale basato sull'utilizzo di tecniche di spettrofotometria digitale di immagini (HSI: *HyperSpectral Imaging*) operante nel vicino infrarosso (1000-2500 nm). Attraverso tale tecnica è stato possibile sviluppare un modello predittivo per il riconoscimento delle particelle contenenti metalli non ferrosi. I risultati, sinteticamente riportati per un campione di materiale in figura 5, hanno dimostrato come l'approccio analitico proposto sia in grado di rilevare le diverse tipologie di materiali, sia di interesse che inquinanti, consentendo così di poter qualificare i prodotti in accordo con la tipologia delle alimentazioni e delle corrispondenti azioni di trattamento.

Questa tecnologia è di particolare interesse, sia da un punto di vista squisitamente tecnico per controllare e/o certificare i materiali relativamente alle varie fasi del processo e/o nei concentrati finali, che ai fini di identificare prodotti provenienti da trattamenti meccanici condotti in diversi ambiti territoriali la cui integrazione con quelli provenienti da altri, non può che essere condotta attraverso una valutazione oggettiva, quantitativamente e qualitativamente, confrontabile.

L'approccio proposto e sviluppato ben si presta al conseguimento di tali obiettivi, essendo di facile implementazione, di basso costo, ma soprattutto in grado di rilevare i parametri di interesse con costanza e continuità direttamente in impianto. L'individuazione di tali caratteristiche contribuisce in maniera determinante alla possibilità di definire bioregioni di produzione dei RAEE, dove il dato "composizione dei prodotti risultanti dal riciclo meccanico", da indirizzare al recupero finale, costituisce elemento di sintesi e di identificazione.

Tramite l'analisi di immagini iper-spettrali è quindi possibile riconoscere la firma spettrale delle resine, che compongono le schede a circuito stampato, e/o i metalli inglobati come impurità.

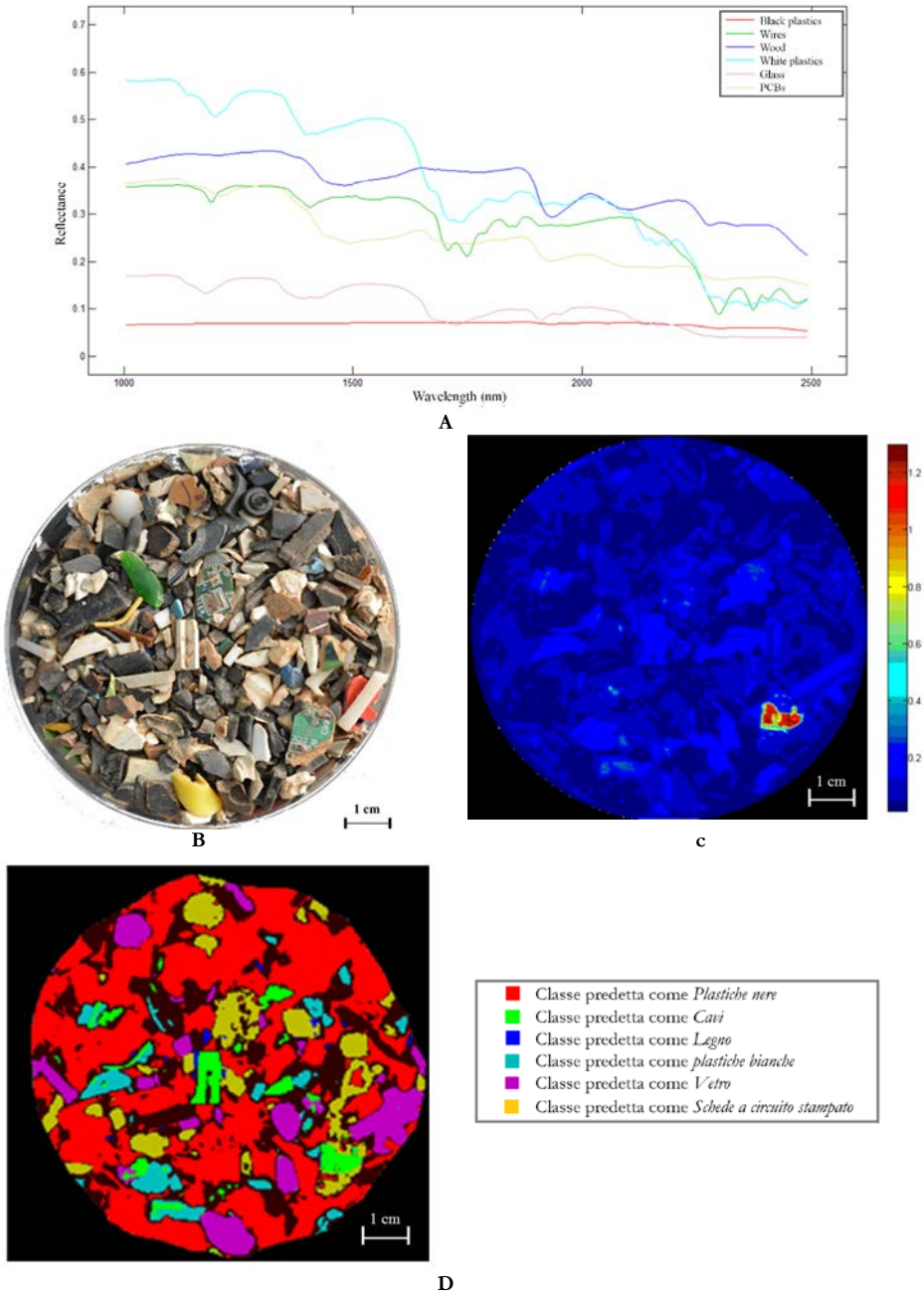

Fig. 5 – Esempio dell'applicazione della procedura di analisi/classificazione iperspettrale applicata ad un campione di RAEE. Spettri medi (a), immagine pittorica (b) ed immagine iperspettrale (1000-2500 nm) (c) dei vari costituenti il campione di RAEE. Risultati della classificazione PLS-DA (d).

4. Conclusioni

I processi di separazione applicati ai RAEE rappresentano una delle sfide tecnologiche più importanti nel campo del recupero e del riciclo delle materie prime seconde. Strategie di pre-concentrazione meccanica basate su tecniche di separazione fisica innovative integrate da logiche di analisi e controllo avanzate dei prodotti, queste ultime basate su dispositivi ottici, sono le tematiche di ricerca applicata sule quali si misureranno le sfide tecnologiche future in un'ottica di sostenibilità e di economia circolare applicate ai RAEE. Un tale approccio consentirà l'apertura di scenari innovativi nel campo delle risorse e del riciclo come di seguito riportati:

- La possibilità di sviluppo di un sistema in grado di riconoscere materiali inquinanti, utilizzabile non solo per il selezionamento, ma anche come nucleo di analisi per eseguire un controllo qualità sui prodotti provenienti da diversi stadi di lavorazione.
- La possibilità di garantire una produzione affidabile sia in termini di qualità che di quantità di prodotto riciclato. Obiettivo, questo, che dovrebbe prendere in considerazione anche la possibilità di definire nuove classi di prodotti riciclati, non solo nella composizione, ma anche in termini di attributi fisici delle particelle stesse (dimensioni, forma, morfologia), secondo processi di riciclaggio innovativi incorporando l'approccio delle tecniche HSI (SERRANTI ET AL, 2010).
- L'attuazione di politiche ambientali e sociali in grado di chiudere in maniera efficiente e virtuosa il riciclo di tale tipologia dei rifiuti. Il contributo ad una gestione integrata dei prodotti risultanti dal pretrattamento meccanico, e da avviare al recupero finale, provenienti da diversi ambiti territoriali (i.e. bioregioni), caratterizzati da diverse specificità economiche, sociali e ambientali.

Riferimenti bibliografici

EUR-LEX 2017, < http://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX%3A32012L0019> (ultima visita: maggio 2017).

BAKKER E.J., BERKHOUT A.J., HARTMANN L. E REM P.C. (2010), "Turning Magnetic Density Separation into Green Business Using the Cyclic Innovation Model", *The Open Waste Management Journal*, vol. 3, pp. 99-116.

BRUKER CORPORATION (2016a), *M4 TORNADO, User manual.*

BRUKER CORPORATION (2016b)b, *M4 TORNADO, Physical principles of Micro-X-ray Fluorescence.*

CENTRO DI COORDINAMENTO RAEE (2015), *Ritiro e trattamento dei Rifiuti da Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche in Italia: rapporto annuale 2015*, MGP & Partners,

<https://www.google.it/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=0ahUKEwjjk4_179_RAhXC1iwKHZSCDZQQFggdMAA&url=https%3A%2F%2Fwww.cdcraee.it%2FDownloadPubFile.pub_do%3Fid%3D2ca98095523b3d5b015384af935577bb&usg=AFQjCNFsscoBMRzXRvfFOEzR3nNaHFvZOg&cad=rja>.

CENTRO DI COORDINAMENTO RAEE (2017), <https://www.cdcraee.it/GetPage.pub_do?id=2ca980955698fe2d0156991a20fe0012> (ultima visita: maggio 2017).

COMUNIUNIVERSO (2017), <http://www.comuniverso.it/index.cfm?Comuni_conferenti_RAEE_nella_Regione_Lazio&menu=647> (ultima visita: maggio 2017).

DA LIO A. (2006), *Il Sistema di gestione dei Rifiuti di Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche (RAEE) come Delineato Dal D. Lgs. 151/2005 e successive modifiche ed Integrazioni*, Diritto all'ambiente, testata giornalistica online. <http://www.dirittoambiente.net/file/rifiuti_articoli_320.pdf > (ultima visita: maggio 2017).

HU B., GIACOMETTI L., DI MAIO F., REM P. (2011), "*Recycling of WEEE by Magnetic Density Separation*", Selected Proceedings of the Sixth International Conference on Waste Management and Technology (ICWMT 6), China.

HU B., VAN BEEK K., BOSMAN A., REM P.C., BAKKER E.J. E DI MAIO F. (2010), "Magnetization Control of Magnetic Liquids for Sink-Float Separations"; *Open Waste Management Journal*, edizione speciale, p81.

KASPER A.C., DE FREITAS JUCHNESKI N. C. E VEIT H.M. (2015), *Mechanical Processing* in VEIT H.M., BERNARDES A.M., *Electronic Waste: Recycling Techniques*, Springer International Publishing, Svizzera, pp. 32-36.

LONGONI F. (2015), XIII Commissione Territorio, ambiente e beni ambientali, Audizione 12.1.2015, Centro di Coordinamento RAEE, <https://www.senato.it/application/xmanager/projects/leg17/attachments/documento_evento_procedura_commissione/files/000/002/165/Centro_di_Coordinamento_RAEE_Audizione_senato_12_1_2015.pdf> (ultima visita: gennaio 2017).

RAMACHANDRA RAO S. (2006). "Physical and physico-chemical processes" in RAMACHANDRA RAO S., *Recovery and recycling from metallurgical wastes*, *Waste management series 7 resource*; Department of Mining, Metals and Materials Engineering McGill University, Canada, (3) pp. 35-69.

SALVI M. (2010), *Rifiuti da Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche (RAEE) – Aspetti tecnico-gestionali e ambientali*, Tesi di Laurea In Valorizzazione delle Risorse Primarie e Secondarie, Facoltà di Ingegneria Alma Mater Studiorum - Università Di Bologna, <http://amslaurea.unibo.it/2922/1/matteo_salvi_tesi.pdf> (ultima visita: gennaio 2017).

SERRANTI S., GARGIULO A. E BONIFAZI G. (2010), "The Utilization of Hyperspectral Imaging for Impurities Detection in Secondary Plastics", *The Open Waste Management Journa*l, vol. 3, pp. 56-70.

VEIT H. M. (2015), "Processing Techniques" in VEIT H. M. E BERNARDES A.M., *Electronic Waste: Recycling Techniques*; Springer International Publishing, Svizzera, pp. 13-16.

VEIT H.M. E MOURA BERNARDES A. (2015), *Electronic Waste*, Springer International Publishing, Svizzera.

WIRTH K. (2011), *X-Ray Fluorescence (XRF).*

Tecnologie innovative per il recupero e il controllo degli aggregati riciclati

Giuseppe Bonifazi, Roberta Palmieri, Silvia Serranti

Abstract

INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR RECYCLED AGGREGATES RECOVERY AND QUALITY CONTROL. Wastes, in a sustainable development perspective, can represent a resource. The goal to transform wastes in products of value can be reached not disposing them off at the end of their life cycle, but re-introducing them in the production chain as secondary raw materials. An important class of products, belonging to secondary raw materials sector, is represented by construction and demolition wastes (C&DW), that can be profitably utilized to develop efficient processing strategies, finalized to the replacement of primary raw materials. In this perspective end-of-life (EOL) concrete can contribute to secure large supplies of concrete aggregates to the construction industry, limiting the new non-renewable resources exploitation. The development, the implementation and the set-up of suitable *on-line* sensor technology able to detect different materials in the recycled DW streams can thus play an important role in order to control the quality of recycled products, maximizing C&DW conversion into secondary raw materials. To reach this goal, an innovative technology, developed inside a EU project (Collaborative Project 2651892782 - FP7- ENV.2010.3.1.3-1: C2CA), based on an hyperspectral imaging (HSI) approach, can be profitably adopted in order to perform non-destructive, rapid and low cost analyses to check the quality of the output streams as resulting from a C&DW recycling plant. The paper deals about this technology and its impact in the construction and demolition sector.

KEYWORDS: construction and demolition waste (C&DW), recycle, mechanical processing, recovered aggregates, quality control.

1. Dall'*ore mining* all'*urban mining*

L'esauribilità delle risorse naturali rende indispensabile puntare al raggiungimento di standard di sviluppo sostenibile, superando il modello di economia

lineare in cui il prodotto è inevitabilmente destinato a giungere a 'fine vita' sotto forma di rifiuto. L'approccio alla base dell'economia circolare è da privilegiare: i materiali di scarto assumono nuovo valore, tornando nella filiera produttiva sotto forma di materia prima seconda anziché essere smaltiti dopo l'utilizzo.

La necessità di materie prime per il corretto funzionamento delle attività produttive e l'esigenza di ridurre i rifiuti da gestire trovano una soluzione nell'applicazione del concetto di *urban mining*.

La città si trasforma in una miniera dalla quale 'estrarre' materie prime seconde per nuove produzioni: edifici, costruzioni, infrastrutture, prodotti di ogni tipo sono potenziali riserve di materia, con concentrazioni di materiali spesso paragonabili alle riserve naturali (BACCINI, BRUNNER 2012; COSSU 2013; COSSU, WILLIAMS 2015).

I materiali di scarto maggiormente prodotti dalle città sono i rifiuti da costruzione e demolizione (C&DW). La città può quindi essere collocata nella sua bioregione all'interno della quale è possibile perseguire un equilibrio coevolutivo riferito ad una particolare tipologia di attività e di prodotti, quali quelle/i legati ad azioni di rinnovamento, rifacimento e dismissione di manufatti ad uso civile e/o industriale. Tali attività, infatti, portano alla generazione di C&DW la cui corretta valorizzazione (i.e. trattamento e riutilizzo) può contribuire in maniera significativa al miglioramento della qualità ambientale, sia in termini di riduzione dello sfruttamento di risorse non rinnovabili, che di impatto ambientale riferito a diverse forme di inquinamento (i.e. emissioni, polveri, rumore, ecc.)

L'Eurostat stima che nel 2014 circa il 33,5% della totalità di rifiuti generati nell'UE, ossia 871 milioni di tonnellate, erano scarti da attività di costruzione e demolizione (EUROSTAT 2016).

Secondo il Rapporto rifiuti speciali del 2016 dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), in Italia nel 2014 sono stati prodotti circa 50 milioni di tonnellate di rifiuti da C&DW classificati come 'non pericolosi': circa il 42,3% della totalità dei rifiuti speciali non pericolosi prodotti deriva, infatti, dal settore delle costruzioni e demolizioni (ISPRA 2016). La composizione degli scarti da C&DW è variabile a causa della diversa origine dei rifiuti. Tale diversità è legata a vari fattori quali: tipologie e tecniche costruttive, clima, sviluppo tecnologico, aspetti questi che influenzano fortemente il tipo di materiale utilizzato in edilizia, al pari delle materie prime disponibili localmente. In Italia la composizione merceologica media dei rifiuti da C&DW è in prevalenza costituita dalla frazione cosiddetta 'inerte', ossia laterizi e calcestruzzo, più sabbia, gesso e terre da scavo (ALTAMURA 2015; ARPAV 2014) (Fig. 1).

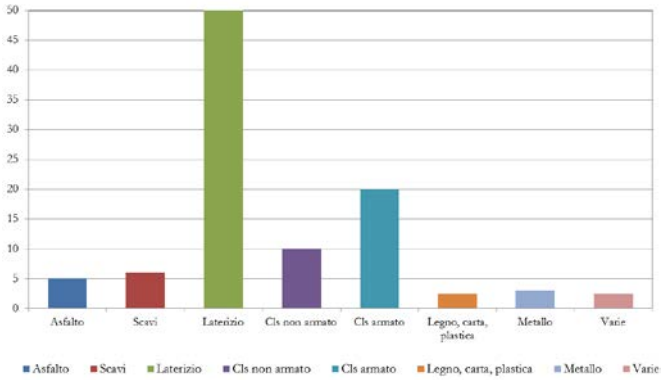

Fig. 2 - Composizione media del rifiuto da costruzione e demolizione prodotto in Italia (Fonte: ARPAV 2014).

Circa il 65% degli immobili residenziali in Italia è stato costruito tra il 1945 e il 1990 ed è quindi caratterizzato da una considerevole obsolescenza tecnica e funzionale che rende il patrimonio edilizio passibile di interventi di demolizione e/o ristrutturazione integrale (PALEARI, CAMPIOLI 2015). È evidente che le discariche non possano essere una soluzione sostenibile per lo smaltimento di questa mole di rifiuti. Inoltre, il quadro normativo italiano in materia di gestione dei rifiuti da C&DW si basa sulla legislazione europea che fissa obiettivi da raggiungere e limiti da rispettare per gli Stati membri. Nello specifico, la Direttiva Europea 2008/98/CE impone entro il 2020 il riciclo di almeno il 70% del peso dei materiali a fine vita. A ciò si aggiunge il continuo sviluppo delle attività di costruzione per andare incontro alle esigenze abitative delle comunità che richiedono l'approvvigionamento d'inerti e materie prime.

Si stima che nell'Unione Europea circa il 50% delle materie prime estratte sia destinato all'edilizia (COM 2014). L'attività mineraria per la coltivazione d'inerti ha un fortissimo impatto sul paesaggio, contribuendo, talvolta, al dissesto idrogeologico dell'area interessata dalle operazioni di cava.

Il consumo di risorse e gli impatti ambientali legati a ciascuna fase del ciclo di vita di un edificio possono essere ridotti promuovendo il riciclo dei rifiuti da C&DW per il recupero di aggregati riciclati. In effetti, il riciclo permette un uso efficiente dei materiali, evitando gli impatti negativi legati all'estrazione dei materiali vergini.

Il Rapporto dell'Osservatorio Recycle (Legambiente 2017a) riporta e approfondisce i cambiamenti già in atto, dalla Direttiva 2008/98/CE in poi, nel settore dell'edilizia, finalizzati ad aumentare il recupero dei rifiuti e spingendo verso il riciclo. Diversi Paesi dove ormai da anni si sta riducendo la quantità di materiali estratti privilegiando il riutilizzo di rifiuti aggregati e inerti provenienti

da riciclo dimostrano come sia possibile porre fine ai problemi ambientali legati all'impatto delle cave sul territorio. L'Italia si trova così ad inseguire altri stati europei che già da tempo hanno politiche di riciclo che coinvolgono i rifiuti da attività di costruzione e demolizione (Legambiente 2017b). L'Olanda è la nazione più virtuosa con il 98% dei materiali recuperati, seguita dall'Irlanda (97%), dalla Danimarca (92%) e dalla Germania (91%) (Tabella 1).

Tab. 1 – Produzione di rifiuti da costruzione e demolizione nei Paesi membri e relative percentuali di riciclo e conferimento in discarica (Fonte: Eurostat 2012/2013).

Paese	Produzione di C&D (milioni di tonnellate)	Materiale riciclato o riutilizzato (%)	Materiale conferito in discarica o inceneritore (%)
Olanda	25.7	98	2
Irlanda	3.1	97	3
Danimarca	8.1	92	8
Germania	191.8	91	9
Belgio	6.9	87	13
Austria	8.3	87	13
Regno Unito	43.2	86	14
Francia	64.2	63	37
Finlandia	15.9	55	45
Svezia	1.3	50	50
Spagna	27.7	38	62
Italia	48.6	9	91
Media	37.1	71.1	28.9

Le informazioni sul numero di impianti presenti, e sulla quantità di materiale recuperato, risultano insufficienti per poter fornire un quadro della situazione italiana. Gli impianti autorizzati, tra fissi e mobili presenti nel nostro Paese sono tra i 2.000 ed i 3.000. Le Regioni con maggiore presenza di questi impianti sono situate nel Centro-Nord: Marche, Toscana, Emilia-Romagna, Veneto e Lombardia. Per quanto riguarda la produzione di inerti riciclati, nella sola Provincia Autonoma di Trento si producono ogni anno circa 800.000 metri cubi di aggregati riciclati, mentre in Veneto si arriva addirittura a 1.300.000 metri cubi annui. In Italia sono già presenti buone pratiche di riciclo dei C&DW utilizzati al posto dei materiali di cava. Ad esempio lo Stadio della Juventus è stato realizzato utilizzando i materiali dismessi dal vecchio Stadio Delle Alpi, reimpiegati nel nuovo cantiere, portando anche un notevole risparmio economico. Un altro esempio di come l'innovazione possa portare sviluppo sostenibile è il caso del Passante di Mestre. Tale infrastruttura è stata realizzata utilizzando Econcrete, un materiale prodotto a partire da scarti da attività di costruzione e demolizione, dall'azienda veneta Eco.Men. L'utilizzo di

questo prodotto ha permesso un risparmio del 71% del materiale naturale: circa 320.000 m^2 di materiale da cava, corrispondente alla produzione annuale di una cava di medie dimensioni.

Facendo riferimento al Lazio, dove insiste la Bioregione Pontina, è possibile segnalare la Piattaforma logistica dell'Interporto di Fiumicino, costruita nel 2009: capannoni, strade ed aree di sosta (circa 330.00 m^2 di superficie) sono stati realizzati con l'impiego di aggregati riciclati.

La possibilità di riciclare materiale inerte deve essere vista come una grande opportunità per le imprese del settore anche per la naturale localizzazione dei macchinari necessari proprio nell'ambito dei poli estrattivi, vista la loro ubicazione e le vie di trasporto a cui sono già legate per il passaggio del materiale di cava. Un tale approccio si coniuga perfettamente con il concetto di bioregione urbana, in quanto riciclare significa contribuire in maniera significativa all'autosostenibilità del sistema territoriale ed al benessere delle popolazioni ivi residenti. Attraverso il riciclo ed il riuso si attivano sistemi di produzione a scala locale, dalla demolizione del manufatto ai processi di trattamento e recupero dei materiali costituenti il manufatto stesso, che comunque valorizzano le risorse locali: in questo caso la struttura dismessa

2. La situazione delle attività estrattive nella Bioregione Pontina

Una rilevazione ISTAT/ISPRA ha reso possibile un censimento delle attività estrattive in corso sul territorio nazionale. I dati relativi al 2013 hanno permesso di definire il numero delle cave attive a livello regionale (Fig. 2).

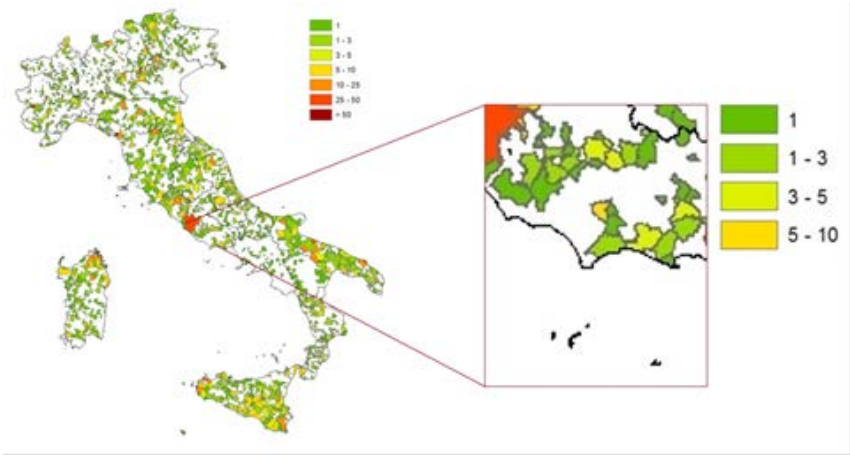

Fig. 3 - Numero di cave attive per comune (Fonte: ISTAT/ISPRA).

Lo stesso studio afferma che nella Provincia di Latina i minerali maggiormente estratti sono per lo più quelli industriali destinati alla produzione di materiali ceramici. Facendo riferimento, poi, al Piano Regionale delle Attività Estrattive (PRAE 2007), si evince che circa il 60% delle cave presenti nel territorio della Bioregione Pontina sia dedicato all'estrazione di inerti per costruzioni. Nello specifico, si è stimato che le cave in esercizio censite nel 2007 erano circa una ventina, mentre quelle non più in esercizio risultavano essere 60 (Fig. 3).

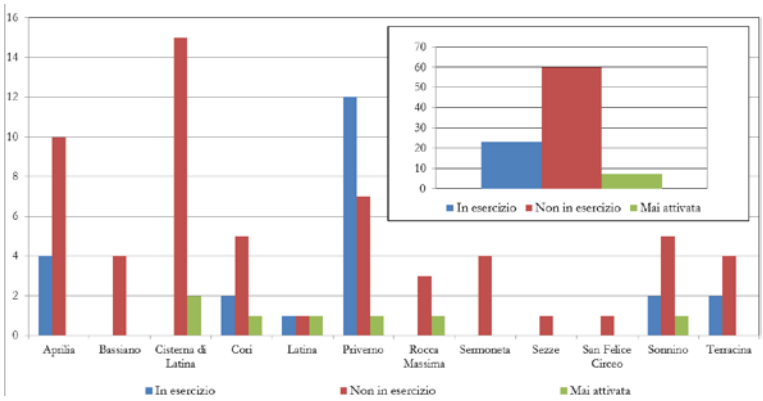

Fig. 4 - Sintesi della situazione dell'attività di cava nella bioregione pontina.
(Fonte: PRAE 2007).

La presenza di cave sul territorio ha inesorabilmente cambiato l'aspetto del paesaggio, segnandolo con evidenti 'ferite'.

Il riciclo di C&DW finalizzato al recupero degli inerti permetterebbe una significativa riduzione del prelievo di risorse naturali con una conseguente attenuazione degli impatti ambientali, consentendo, contemporaneamente, l'approvvigionamento delle materie prime necessarie al settore edilizio.

I principali vantaggi legati a tale tipologia di approccio, possono quindi essere così sintetizzati:

- riduzione della quantità di C&DW conferiti in discarica;
- recupero di materiali che altrimenti sarebbero persi;
- riduzione dello sfruttamento delle risorse naturali e conseguente migliore ed accresciuta salvaguardia del territorio;
- aumento della qualità ambientale, riducendo le emissioni di CO_2 prodotte dagli impianti necessari alla produzione delle stesse materie prime e/o dei prodotti derivanti dal loro trattamento.

3. Il riciclo del calcestruzzo e il controllo di qualità dei prodotti

Tra i materiali facenti parte della famiglia dei C&DW un ruolo importante è rivestito dai manufatti in calcestruzzo giunti a fine vita. Il loro trattamento riveste particolare interesse in quanto il potenziale recupero e riciclo degli aggregati in esso contenuti rappresenta un'interessante alternativa, quale fonte di materia prima seconda, all'utilizzo di inerti vergini di cava.

Su tali premesse si basa il progetto europeo C2CA (*Concrete to Cement Aggregates*) che ha coinvolto il gruppo di ricerca di Ingegneria delle Materie dell'Università di Roma - La Sapienza dal 2011 al 2014[1].

Il progetto C2CA: *"Advanced Technologies for the Production of Cement and Clean Aggregates from Construction and Demolition Waste",* ha avuto come obiettivi primari la messa a punto di procedure innovative in grado di utilizzare il calcestruzzo proveniente da demolizione come materia prima secondaria per la produzione di nuovo cemento ed il re-impiego degli inerti, migliorando la qualità del prodotto riciclato riducendo, contemporaneamente, i costi di gestione e trattamento. Per raggiungere tali scopi, C2CA prevede una demolizione intelligente delle strutture che permetta di ottenere resti di calcestruzzo con bassi livelli di contaminanti, seguita da trattamenti meccanici *in-situ* finalizzati al riciclo degli inerti. Di seguito si riportano brevemente le azioni principali che hanno caratterizzato il progetto, mettendo particolarmente in risalto gli aspetti legati alla sostenibilità ambientale delle azioni sviluppate e messe in atto.

3.1 Il processo

Dopo la frantumazione dei prodotti risultanti dalla demolizione delle strutture e la rimozione dei contaminanti di dimensioni maggiori, si è operata la liberazione degli aggregati dalla malta cementizia attraverso un processo di macinazione autogena. Per rimuovere i contaminanti, più fini e leggeri degli inerti, è stata utilizzata una nuova tecnologia per la selezione dei materiali brevettata proprio all'interno di C2CA: l'*Advanced Dry Recovery* (ADR). L'ADR utilizza l'energia cinetica per rompere i legami dell'acqua che si formano, a causa dell'umidità, tra le particelle fini ed al tempo stesso opera una sorta di classificazione dei materiali in uscita in funzione dei loro attributi morfologici e morfometrici. I prodotti risultanti dalla macinazione autogena vengono quindi,

[1] Il gruppo di ricerca si compone oltre che de La Sapienza, anche di altri centri di ricerca universitari: Tu-Delft (Olanda), AGH (University of Science and Technology) - (Polonia), Institute of Chemical Engineering and High Temperature Chemical Processes (Grecia), Barcelona Supercomputing Centre (Centro National de Supercomputación) - (Spain), Leiden University (Olanda), Technical University Denmark (Danimarca), nonchè di aziende quali: Strukton (Olanda), Theo Pow (Olanda), Hedelberg Cement (Germania), Holcim (Svizzera), ecc.

grazie all'ADR, separati: gli aggregati vengono concentrati nella frazione grossolana del prodotto, mentre la frazione fine risulta costituita da cemento, sabbia e contaminanti leggeri come il legno, la plastica e materiali isolanti. L'approccio adottato nel progetto C2CA sfrutta, quindi, operazioni puramente meccaniche, applicate direttamente sul materiale risultante dalla demolizione, senza asciugare né bagnare i materiali. Queste scelte rendono il sistema estremamente semplice e caratterizzato da un basso impatto ambientale per quanto riguarda la produzione di fanghi e/o polveri.

3.2 Il controllo di qualità

Il progetto C2CA ha previsto l'utilizzo *on-line* di sensori per il controllo di qualità dei prodotti. In questo modo si evita la necessità di analisi di laboratorio, riducendo praticamente a zero il prelievo e l'analisi *off-line* dei campioni risultanti dalle fasi di trattamento intermedio, con grandi vantaggi sia di costi che di tempi di risposta.

Il controllo di qualità dei prodotti riciclati è molto importante perché permette di ottenere il miglior materiale possibile da re-immettere sul mercato, consentendo di rilevare eventuali anomalie di funzionamento nell'impianto, di identificare l'eventuale presenza di materiali indesiderati e di verificare con continuità che le proprietà dei prodotti siano quelle volute. Obiettivo del gruppo di ricerca di Ingegneria delle Materie Prime di Sapienza all'interno del progetto C2CA è stato progettare e creare una piattaforma di analisi, basata su sensori ottici, per verificare la qualità dei prodotti derivanti dall'ADR, utilizzando la tecnica del *Hyperspectral Imaging* (HSI).

L'HSI combina la spettroscopia classica con l'analisi d'immagine, consentendo di acquisire 'cubi di dati' (i.e. ipercubi) in un determinato intervallo spettrale. Per ciascun *pixel* dell'ipercubo è possibile ricavare uno spettro di riflettanza caratteristico del materiale.

Sono stati controllati i prodotti dell'ADR, ossia gli aggregati riciclati, sia in termini di presenza di contaminanti che di grado di liberazione dell'inerte rispetto alla matrice cementizia (Fig. 4).

Quest'ultimo aspetto riveste grande importanza, poiché le caratteristiche di lavorabilità di un calcestruzzo e le sue proprietà meccaniche finali sono influenzate, nel caso dell'utilizzo di inerti riciclati, dal loro "grado di pulizia".

Per quanto riguarda l'analisi della presenza di inquinanti (BONIFAZI 2015), a partire da un set di immagini di addestramento nel quale erano presenti le classi note dei materiali da riconoscere (i.e. aggregati, mattone, materiale isolante, gesso, plastica e legno), è stato costruito un modello predittivo per il riconoscimento delle stesse classi su immagini ignote (Fig. 5).

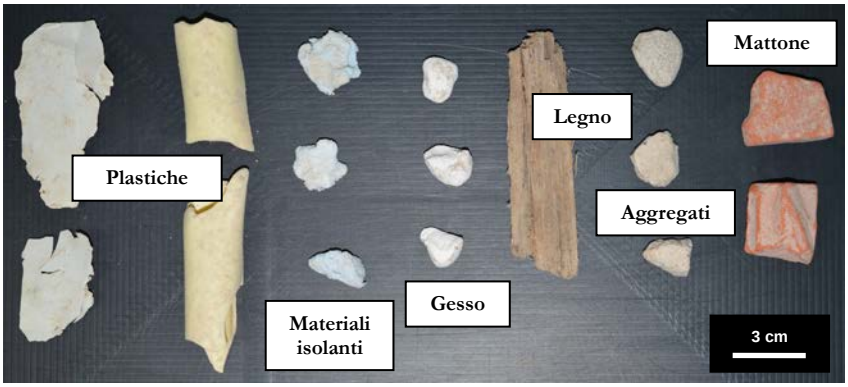

Fig. 5 - Esempio di immagine acquisita per addestrare il modello di classificazione. Classi di materiali: aggregati, mattone, materiali isolanti, gesso, plastica e legno.

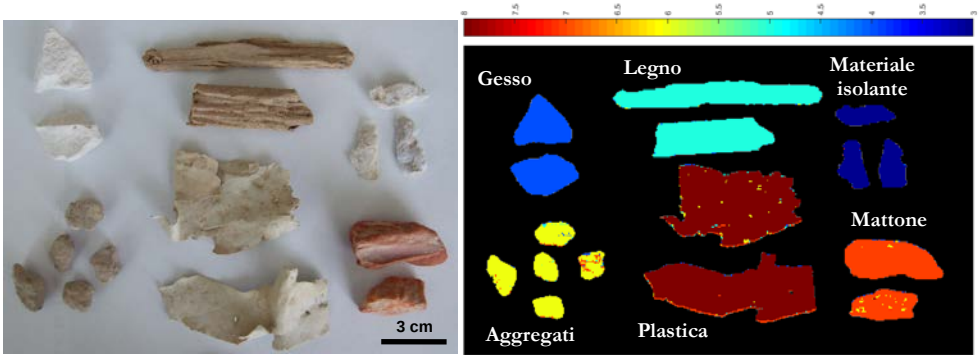

Fig. 6 - Immagine digitale (a sinistra) e rispettiva immagine iperspettrale classificata con il modello predittivo costruito (a destra). Le classi sono: aggregati, mattone, materiale isolante, gesso, plastica e legno.

Per l'analisi del grado di liberazione degli aggregati riciclati dalla malta cementizia (SERRANTI, PALMIERI, BONIFAZI 2015), è stato costruito un nuovo modello di classificazione utilizzando un set di immagini di addestramento e un set di validazione nelle quali erano presenti particelle di malta, particelle di aggregati libere e particelle miste malta/aggregato (Fig. 6).

Nell'immagine classificata (Fig. 7) è facile riconoscere le particelle di aggregato completamente libere (in rosso) da quelle di malta (in blu) e quelle ancora implicate (rosse/blu).

L'approccio proposto basato su HSI presenta diversi vantaggi: è obiettivo, veloce, non distruttivo e permette di condurre le indagini a costi contenuti. Quest'ultimo aspetto (i.e. bassi costi analitici) riveste grande importanza, soprattutto in un settore come quello delle materie prime seconde ed in

particolare quello dei rifiuti costituiti da manufatti in calcestruzzo dove sistemi di caratterizzazione e controllo costosi e sofisticati non sarebbero applicabili sia per motivi tecnici (i.e. variabilità dimensionale dei prodotti, forma e composizioni delle particelle) che per ragioni economiche (i.e. il 'basso' valore dei materiali da recuperare).

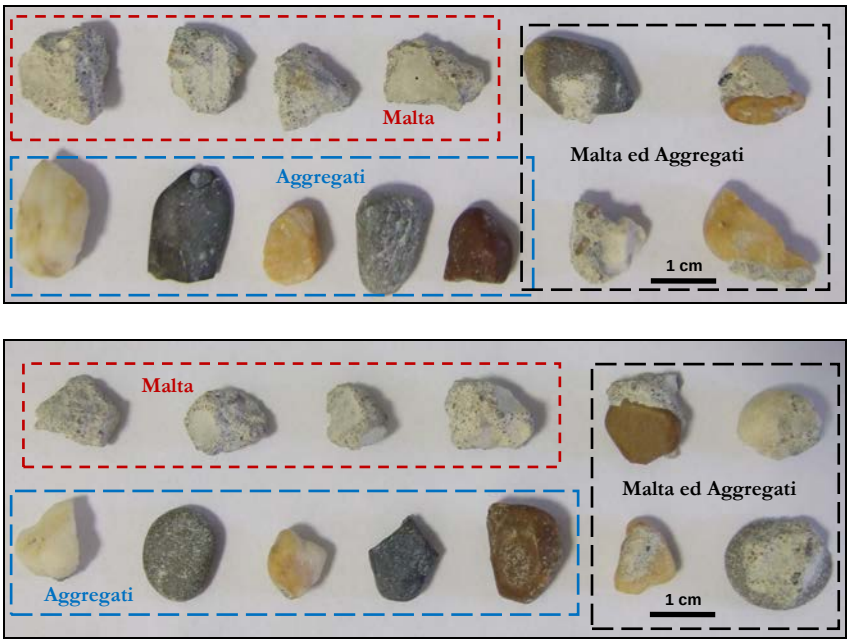

Fig. 7 - Immagine di addestramento (in alto) e di validazione (in basso) utilizzate per la costruzione del modello per la valutazione del grado di liberazione degli aggregati dalla malta cementizia.

Come confermato dai risultati, il metodo HSI può essere utilizzato nel settore del C&DW in maniera vantaggiosa per il controllo di qualità: i) dei materiali alimentati all'impianto, ii) dei materiali costituenti i flussi intermedi dei processi ed, infine, iii) dei prodotti di riciclo finali al fine di 'certificarne' la qualità.

La certificazione di qualità di un prodotto generato a partire da una materia prima seconda (i.e. rifiuto) è, infatti, uno dei fattori che maggiormente limita il riuso di certi materiali, in certi settori, proprio per l'incertezza legata ad una loro oggettiva caratterizzazione in termini di qualità. Incertezza che spesso, anche a parità di costi, fa ancora preferire i materiali vergini a quelli riciclati. L'approccio proposto rappresenta un primo importante passo verso una più concreta e crescente applicazione del concetto di economia circolare anche ad un settore, quello delle costruzioni, dove vengono ancora largamente utilizzati materiali risultanti dallo sfruttamento di materie prime non rinnovabili.

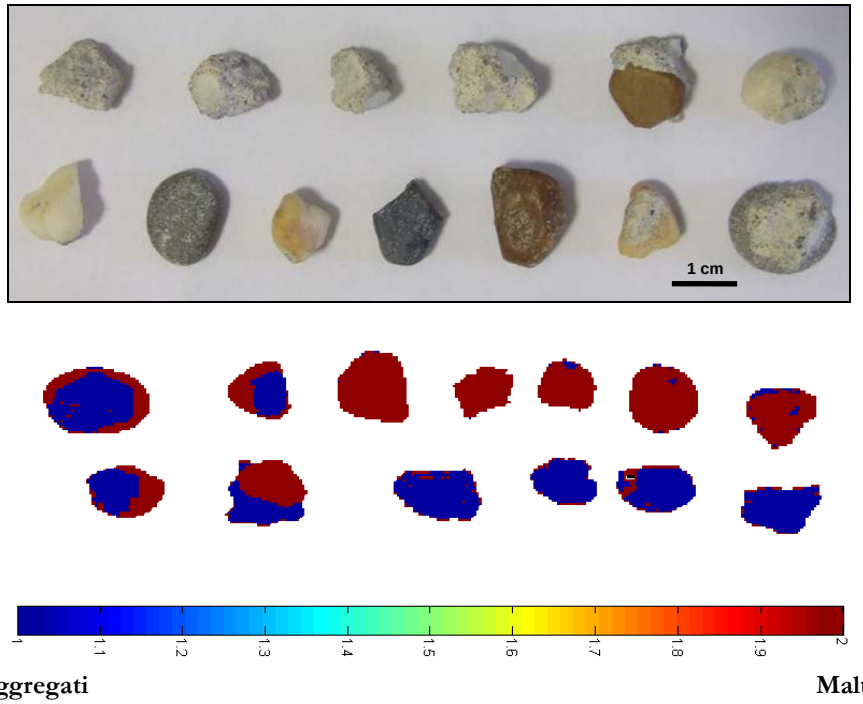

Fig. 8 - Immagine classificata sorgente (in alto) utilizzata per l'applicazione del modello per la valutazione del grado di liberazione degli aggregati rispetto alla malta cementizia. Immagine a falsi colori (in basso) illustrante la composizione delle particelle così come risultante dall'applicazione del modello.

4. Conclusioni

La possibilità di sviluppare processi in grado di operare il riciclo degli scarti da attività di costruzione e demolizione presenta numerosi vantaggi, sia di tipo tecnico-economico che per la visione territorialista.

Relativamente ai primi si possono citare quelli legati a:

- la riduzione delle attività di cava per l'estrazione degli inerti naturali e la limitazione dello smaltimento in discarica, con la conseguente tutela del territorio,
- i minori costi legati al conferimento dei rifiuti in impianti di riciclo anziché in discarica,
- la possibilità per gli operatori di utilizzare materie prime seconde che, a parità di prestazioni, possono avere costi più bassi rispetto ai materiali naturali.

Relativamente ai secondi:

- il contributo alla cura collettiva dei luoghi ed alla valorizzazione delle sue risorse, in questo caso le materie prime seconde;
- la gestione di beni economici a base territoriale,
- l'auto-sostenibilità in un'ottica di bioregione orientata all'attivazione di strategie di sviluppo locale integrate e multisettoriali.

Tuttavia, i principali ostacoli che non permettono a tale tipologia di prodotti di essere pienamente utilizzati e di diventare parte integrante di un meccanismo di economia circolare, all'interno del settore delle costruzioni, sono ancora numerosi. Le criticità maggiori sono legate alla mancanza di dati certi sulla produzione di rifiuti inerti che è il presupposto irrinunciabile per un'adeguata pianificazione delle attività di gestione. A questo va aggiunta una scarsa separazione alla fonte dei rifiuti legata a un carente impiego di azioni di demolizione di tipo selettivo, che rendono più onerose le successive fasi di riciclo. Bisogna, infine, tener conto dell'istintiva diffidenza dell'utilizzatore nei confronti dei prodotti riciclati, per una non sempre chiara definizione e certificazione dei loro attributi di qualità. Relativamente a quest'ultimo problema, l'approccio proposto dal gruppo di ricerca di Ingegneria delle Materie Prime dell'Università di Roma - La Sapienza, basato su tecnologie innovative di tipo iperspettrale (HSI), potrebbe costituire una valida soluzione sia dal punto di vista tecnico che economico per realizzare una certificazione di tale tipologia di materie prime seconde, consentendo così un loro più agevole ingresso nel mercato.

Riferimenti bibliografici

ALTAMURA P. (2015), *Costruire a zero rifiuti – Strategie e strumenti per la prevenzione e l'upcycling dei materiali di scarto in edilizia*, FrancoAngeli Edizioni, Milano.

ARPAV (2014), < http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/rifiuti/rifiuti-speciali/particolari-categorie-di-rifiuto/rifiuti-da-costruzione-e-demolizione> (ultima visita: gennaio 2017).

BACCINI P., BRUNNER P.H. (2012*),* "Metabolism of the Anthroposphere – Analysis, Evaluation, Design", in: The MIT press, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.

BONIFAZI G., PALMIERI R., SERRANTI S. (2015), "Hyperspectral imaging applied to end-of-life (EOL) concrete recycling", *tm-Technisches Messen*, Vol. 82(12), 616-624.

COM (2014), <http://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2014/IT/1-2014-445-IT-F1-1.Pdf> (ultima visita: gennaio 2017).

COSSU R. (2013), "The urban mining concept", *Waste Management*, Vol. 33, pp. 497- 498.

COSSU R., WILLIAMS I.D. (2015), "Urban mining: Concepts, terminology, challenges", *Waste Management*, Vol. 45, 1-3.

DIRETTIVA DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO 2008/98/CE del 19 novembre 2008, Relativa ai rifiuti.

EUROSTAT (2016),

<http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics> (ultima visita: gennaio 2017).

ISPRA (2016), <http://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/rapporti/rapporto-rifiuti-speciali-edizione-2016 > (ultima visita: gennaio 2017).

PALEARI M., CAMPIOLI A. (2015), "I rifiuti da costruzione e demolizione: LCA della demolizione di 51 edifici residenziali", *Ingegneria dell'Ambiente*, Vol.2 (4), 47-61.

PRAE (2007),
<http://www.provincia.latina.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/6074> (ultima visita: Gennaio 2017).

SERRANTI S., PALMIERI R., BONIFAZI G. (2015), "On-line quality assessment and certification of recycled aggregates from demolition waste based on a chemical imaging approach", Proceeding of The 8th International Conference for Conveying and Handling of Particulate Solids, Tel-Aviv, Israele, Maggio 2015.

Gli Autori

Chiara Alfiero. Ingegnere dell'Ambiente per lo Sviluppo Sostenibile. SAP Analyst presso Accenture Technology Solutions. Attualmente lavora presso Hydroarch S.r.l.. alfiero.chiara@gmail.com

Claudio Alimonti. Professore associato di Idrocarburi e Fluidi del Sottosuolo, Dipartimento di Ingegneria Chimica Materiali e Ambiente di Sapienza Università di Roma claudio.alimonti@uniroma1.it

Fabrizio Bonacina. Dottore di Ricerca in Ingegneria Industriale e Gestionale. Sapienza Università di Roma fabrizio.bonacina@uniroma1.it

Giuseppe Bonifazi. Professore ordinario di Ingegneria delle Materie Prime, Dipartimento di Ingegneria Chimica Materiali e Ambiente di Sapienza Università di Roma giuseppe.bonifazi@uniroma1.it

Alberto Budoni. Professore associato di Tecnica e Pianificazione Urbanistica, Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale di Sapienza Università di Roma alberto.budoni@uniroma1.it

Andrea Cappelli. Professore aggregato di Valutazione e Uso Sostenibile delle Risorse Ambientali, Dipartimento di Ingegneria Chimica Materiali e Ambiente di Sapienza Università di Roma andrea.cappelli@uniroma1.it

Marco Centra. Ingegnere dell'Ambiente per lo Sviluppo Sostenibile
marco.centra5@libero.it

Ennio Cima. Ingegnere Idraulico, Direttore dell'Ingegneria di Acqualatina S.p.A. ennio.cima@acqualatina.it

Francesco Cioffi. Professore associato di Idraulica, Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale di Sapienza Università di Roma francesco.cioffi@uniroma1.it

Federico Conticello. Ingegnere Ambientale, Dottore di Ricerca in Ingegneria Ambientale e Idraulica, Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale di Sapienza Università di Roma federicorosario.conticello@uniroma1.it

Alessandro Corsini. Professore associato di Sistemi per l'Energia e l'Ambiente, Dipartimento di Meccanica e Aeronautica di Sapienza Università di Roma alessandro.corsini@uniroma1.it

Sara Feudo. Dottore di Ricerca in Ingegneria Industriale e Gestionale. Assegnista di ricerca presso il dipartimento di Ingegneria Meccanica ed Aerospaziale, Sapienza Università di Roma sara.feudo@uniroma1.it

Riccardo Gasbarrone. Dottorando in Ingegneria Elettrica, dei Materiali e delle Nanotecnologie, Dipartimento di Ingegneria Chimica Materiali e Ambiente di Sapienza Università di Roma. riccardo.gasbarrone@uniroma1.it

Giuseppe Iorio. Direttore Tecnico Soilmixing S.r.l. Start Up Sapienza Università di Roma iorio@soilmix-ing.it

Maria Martone. Professoressa aggregata di Disegno, Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura di Sapienza Università di Roma maria.martone@uniroma1.it

Ignazio Paolo Marzano. Docente a contratto di Geotecnica, Facoltà di Ingegneria Civile Industriale sede di Latina di Sapienza Università di Roma paolo.marzano@uniroma1.it

Valerio Mazzeschi. Ingegnere Civile Ambientale, Dottorando in Infrastrutture e Trasporti, Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale di Sapienza Università di Roma valerio.mazzeschi@uniroma1.it

Roberta Palmieri. Ingegnere Civile Ambientale, Dottore di ricerca in Ingegneria Elettrica, dei Materiali e delle Nanotecnologie, Assegnista di ricerca presso il Dipartimento di Ingegneria Chimica Materiali e Ambiente di Sapienza Università di Roma roberta.palmieri@uniroma1.it

Giuseppe Panetta. Ph.D. Ricerca e sviluppo Soilmixing S.r.l. Start Up Sapienza Università di Roma panetta@soilmix-ing.it

Vincenzo Scotti. Ingegnere Ambientale, Dottorando in Ingegneria Ambientale e Idraulica, Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale di Sapienza Università di Roma vincenzo.scotti@uniroma1.it

Silvia Serranti. Professoressa associata di Ingegneria delle Materie Prime, Dipartimento di Ingegneria Chimica Materiali e Ambiente di Sapienza Università di Roma silvia.serranti@uniroma1.it

Silvano Simoni. Coordinatore Scientifico del progetto FP7 Biowalk4Biofuels, esperto di sistemi di energie rinnovabili silvano.simoni@comune.roma.it

Sergio Zerunian. Biologo, Docente a contratto di Ecologia, Facoltà di Ingegneria Civile Industriale sede di Latina di Sapienza Università di Roma zerunians@virgilio.it

La Bioregione Pontina coincide sostanzialmente con la parte nord-occidentale della Provincia di Latina caratterizzata da forti dinamiche di diffusione insediativa, dal degrado del patrimonio territoriale, dalla mancanza di forme convincenti di sviluppo locale, difficili da raggiungere in un territorio segnato dalla frammentazione sociale imposta dalla bonifica integrale e dal pesante fardello della criminalità organizzata. In questo contesto opera il Nodo Pontino della Società dei Territorialisti (SdT), formato da docenti, assegnisti, dottorandi e giovani laureati della sede di Latina della Facoltà di Ingegneria Civile e Industriale di Sapienza Università di Roma. Il volume raccoglie le loro esperienze e riflessioni svolte in diversi ambiti disciplinari che rappresentano uno spaccato di problemi, soluzioni, ma anche di contraddizioni e questioni aperte riguardanti non solo la Bioregione Pontina ma qualsiasi territorio di cui si voglia promuovere un diverso modello di sviluppo e delineare scenari di futuro.

Alberto Budoni **professore associato di Tecnica e Pianificazione Urbanistica, membro del Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale di Sapienza Università di Roma, insegna presso la sede di Latina della Facoltà di Ingegneria Civile e Industriale della stessa università. Svolge attività di ricerca su metodi e strumenti per la pianificazione territoriale e urbanistica con particolare riferimento alle tematiche dello sviluppo locale, della sostenibilità ambientale, dell'integrazione con la pianificazione dei trasporti. Tra le sue pubblicazioni sul territorio pontino si segnala la curatela di** *Pianificare in controtendenza. Nuovi programmi di ricerca e nuove lauree di ingegneria per il territorio della provincia di Latina, Aracne, Roma 2013*. **alberto.budoni@uniroma1.it**

Maria Martone **architetto, ricercatore confermato presso il Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura, di Sapienza Università di Roma, è professore aggregato in "Disegno dell'Architettura I con laboratorio" e "Rappresentazione del territorio e dell'ambiente" presso la Facoltà di Ingegneria Civile e Industriale Università Sapienza di Roma, sedi di Roma e di Latina. Svolge la propria attività di ricerca sui temi della rappresentazione e documenta-zione dell'architettura, della città e del territorio. I suoi contributi sono in pubblicazioni collettive e monografiche, in riviste specializzate e in atti di convegni e seminari. Tra i suoi scritti si segnala la monografia** *Segni e disegni dell'Agro Pontino. Architettura, città, territorio, Aracne, Roma 2012*. **maria.martone@uniroma1.it**

Sergio Zerunian **biologo, è docente a contratto di Ecologia presso il Polo Pontino di Sapienza Università di Roma. La sua attività di ricerca in vari campi della zoologia e dell'ecologia ha portato alla pubblicazione di circa 130 articoli e monografie, tra cui** *Condannati all'estinzione? (Edagricole, Bologna 2002)*, *Pesci delle acque interne d'Italia (Min. Ambiente e INFS 2004)* **e** *Il Triotto e la Civetta - la mia Zoologia (Ed. Bel-vedere, Latina 2015)*; **ha inoltre curato 6 volumi per il Corpo Forestale dello Stato - UTB di Fogliano, dove ha prestato servizio fino al 2012. È membro dei Comitati Scientifici di** *Biologia Ambientale*, **rivista del Centro Italiano Studi di Biologia Ambientale, Legambiente e WWF Italia. zerunians@virgilio.it**

ISBN 978-88-940261-3-9