

Tirocini formativi in ISPRA: esperienze

Anno 2022



QUADERNI
EDUCAZIONE E FORMAZIONE
AMBIENTALE

4/2025



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Sistema Nazionale
per la Protezione
dell'Ambiente

Tirocini formativi in ISPRA: esperienze

Anno 2022

QUADERNI
EDUCAZIONE E FORMAZIONE
AMBIENTALE

4/2025

Informazioni legali

L'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), insieme alle 21 Agenzie Regionali (ARPA) e Provinciali (APPA) per la protezione dell'ambiente, a partire dal 14 gennaio 2017 fa parte del Sistema Nazionale a rete per la Protezione dell'Ambiente (SNPA), istituito con la Legge 28 giugno 2016, n.132.

Le persone che agiscono per conto dell'Istituto non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questa pubblicazione.

ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
Via Vitaliano Brancati, 48 – 00144 Roma
www.isprambiente.gov.it

ISPRA, Quaderni di Educazione e Formazione Ambientale 4/2025
ISBN 978-88-448-1267-6

Riproduzione autorizzata citando la fonte

Elaborazione grafica

Grafica di copertina: Alessia Marinelli - **ISPRA** – Area Comunicazione Ufficio Grafica

Foto di copertina: Database ISPRAVIDEO

Coordinamento pubblicazione online

Daria Mazzella

ISPRA – Area Comunicazione

Impaginazione testi

Elvira Gatta e Beatrice Fernandez

ISPRA – Sezione per la promozione di progetti di alternanza formazione-lavoro
Area educazione e formazione ambientale - Servizio per l'educazione e formazione
ambientale e per il coordinamento tecnico delle attività di Direzione

(Luglio 2025)

Coordinamento tecnico e responsabile del progetto

Elvira Gatta

ISPRA – Sezione per la promozione di progetti di alternanza formazione-lavoro
Area educazione e formazione ambientale - Servizio per l'educazione e formazione
ambientale e per il coordinamento tecnico delle attività di Direzione

Revisione ed *editing* testi

Elvira Gatta e Vincenza Cipollone

ISPRA – Sezione per la promozione di progetti di alternanza formazione-lavoro
Area educazione e formazione ambientale - Servizio per l'educazione e formazione
ambientale e per il coordinamento tecnico delle attività di Direzione

Elaborazioni statistiche

Raccolta e preparazione dei dati

Vincenza Cipollone

ISPRA – Sezione per la promozione di progetti di alternanza formazione-lavoro
Area educazione e formazione ambientale - Servizio per l'educazione e formazione
ambientale e per il coordinamento tecnico delle attività di Direzione

Classificazione ed elaborazione dei dati

Simona Buscemi

ISPRA - Servizio per l'informazione, le statistiche ed il reporting sullo stato dell'ambiente

Sommario

Prefazione	5
Introduzione	7
Parte 1 – I tirocini	9
1. Indicatori e policy ambientali per i macrotemi “Cambiamenti climatici e “Inquinamento zero” (A. Bobbio, C. Frizza)	10
2. La lettura del territorio: le acque di superficie e l’antropizzazione del suburbio meridionale di Roma. Il caso della cisterna di via Cristoforo Colombo a Roma (M. Bottoni, A. Colapietro)	15
3. Caratterizzazione di microsatelliti e selezione di pannelli per la valutazione genetica delle popolazioni di orso bruno (<i>Ursus arctos</i>) in Italia (G. Catania, F. Davoli)	20
4. Elementi e osservazioni geologiche dell’area Arburese (S. Cotza, M. Serra)	27
5. Other Effective Area-based Conservation Measures (OECM) per la tutela della biodiversità: analisi e valutazione delle aree sottoposte a vincolo paesaggistico (V. A. Cumbo, S. D’Ambrogi)	33
6. La lettura del territorio: le acque di superficie e l’antropizzazione del suburbio meridionale di Roma. Il caso del fiume Almone (G. De Coste, G. M. Monti)	40
7. Recruitment su manufatti in cemento con funzione antistrascico: analisi del sintaxon ad Anfipodi di fondi duri (M. De Simone, B. Trabucco)	44
8. Mercurio e metilmercurio, dal sedimento al biota (G. Galardi, C. Maggi)	50
9. Distretti biologici e sviluppo locale (F. Lorenzini, R. Sannino)	56
10. Sviluppo di un pannello di loci microsatellite in <i>Panthera tigris</i> per applicazioni in Genetica della Conservazione e Forense (M. C. Maragucci, F. Mattucci)	62
11. Distretti biologici e sviluppo locale (G. Marchese, R. Sannino)	67
12. Agricoltura biologica in Toscana: ruolo del settore agricolo in relazione al cambiamento climatico inteso come emissioni di gas serra (I. Pasquino, V. Rastelli)	73
13. Relazione tra livello del mare ed eventi meteorologici: uno studio lungo la costa italiana (G. Raffy, A. Orasi, M. Picone)	79

14.	Analisi dei trend dei principali parametri fisici per la costruzione di indicatori di cambiamento climatico” (<i>L. Ricciotti, M. Picone</i>)	84
15.	Il successo riproduttivo di una popolazione di berta minore <i>Puffinus yelkouan</i> (Uccelli, Procellariformi), nidificante a Montecristo (Parco Nazionale dell’Arcipelago Toscano) e salvata dalla predazione da ratto nero <i>Rattus rattus</i>” (<i>A. Rigenerato, M. Cozzo</i>)	91
16.	Centro Nazionale dei Rifiuti e dell’Economia Circolare (<i>C. Scutti, S. Ermili</i>)	97
17.	Analisi del consumo di suolo dei comuni italiani e studio delle variazioni della temperatura in ambito urbano tramite dati satellitari (<i>A. C. Tani, P. Dichicco</i>)	103
Parte 2 – Analisi statistiche		108
1.	Il/la tirocinante (<i>S. Buscemi</i>)	109
2.	Lo svolgimento del tirocinio (<i>V. Cipollone</i>)	114
Appendice		121
1.	Struttura Organizzativa ISPRA (<i>E. Gatta, V. Cipollone</i>)	122

Prefazione

ISPRA annovera fra i suoi fini istituzionali l'educazione e la formazione ambientale e crede fermamente nell'importanza di tali attività per lo sviluppo, nelle nuove generazioni, di una maggiore sensibilità ambientale ed il rispetto dell'ambiente.

In questa ottica, lo strumento formativo del tirocinio si è rivelato particolarmente efficace, consentendo ai giovani l'approfondimento di tematiche ormai di rilevanza globale, dalla biodiversità alla salvaguardia dei diversi ecosistemi, dai cambiamenti climatici allo sviluppo sostenibile, dall'economia circolare ai rifiuti, oltre la possibilità di svolgere esperienze laboratoriali.

La presente pubblicazione raccoglie elaborati che rappresentano alcune delle esperienze formative realizzate da studenti nell'anno 2022 presso l'ISPRA, nella modalità del tirocinio su tematiche ambientali, in collaborazione con Enti di alta formazione.

La raccolta è dedicata ai lavori realizzati attraverso tirocini di natura "curriculare", funzionali al conseguimento di un titolo di studio formalmente riconosciuto, svolti nell'ambito di percorsi formativi di alternanza tra studio e lavoro (art. 18, legge n. 196/1997 e successivo Decreto Ministeriale n. 142 del 25 marzo 1998).

Obiettivo di questo lavoro è la valorizzazione delle esperienze formative vissute da tanti giovani che hanno scelto - e continuano a scegliere, sempre più numerosi - l'ISPRA per completare il proprio ciclo di studi, acquisendo esperienze concrete e sviluppando competenze su tematiche ambientali, anche al fine di inserirsi più efficacemente e consapevolmente nel mondo del lavoro.

Grazie al tirocinio, reso possibile dai rapporti di collaborazione instaurati da ISPRA (nel ruolo di *soggetto ospitante*) con gli enti preposti alla formazione (cd. *soggetti proponenti*), gli studenti hanno avuto l'opportunità di approfondire, sul campo, tematiche tecnico-scientifiche, nel contesto lavorativo proprio di un ente di ricerca.

Gli studenti, affiancati da tecnici esperti che hanno supervisionato e coordinato le attività, sono stati inseriti nel contesto lavorativo e coinvolti, a fini formativi, nelle quotidiane attività tecnico-scientifiche.

Il confronto con la realtà del mondo lavorativo ha permesso loro di sviluppare competenze pratiche e tecniche, anche di tipo "trasversale", proprie di un ambiente lavorativo in cui le competenze professionali si esprimono pure attraverso *teams* di studio e/o ricerca aventi carattere multidisciplinare.

Il numero crescente delle attività formative erogate dall'Istituto, anche attraverso la modalità del tirocinio, è una delle tante evidenze che fanno di ISPRA un punto di riferimento nel panorama scientifico, nazionale ed internazionale, per la formazione in materia ambientale e che ha trovato recentemente una ulteriore autorevole conferma con l'istituzione della "*Scuola di specializzazione in discipline ambientali*",

inaugurata il 17 ottobre 2024, che rappresenta un modello d'eccellenza per l'alta formazione specialistica in materia ambientale.

Alfredo Ricciardi Tenore

*Dirigente del Servizio per l'educazione e formazione ambientale e
per il coordinamento tecnico delle attività di Direzione*

Introduzione

L'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) è stato istituito con l'art. 28 del Decreto Legge 25 giugno 2008, n. 112 recante "Disposizioni urgenti per lo sviluppo economico, la semplificazione, la competitività, la stabilizzazione della finanza pubblica e la perequazione Tributaria" per come convertito dalla Legge 6 agosto 2008, n.133, sotto la vigilanza dell'allora Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare (oggi Ministero dell'Ambiente e della sicurezza energetica).

ISPRA, oltre le funzioni tecnico-scientifiche per la tutela dell'ambiente e l'attuazione di politiche di sostenibilità, annovera tra i propri compiti istituzionali anche la promozione e la realizzazione di programmi di educazione e formazione ambientale, sia in ambito nazionale che internazionale, rivolti ad una pluralità di destinatari (studenti, ricercatori, dipendenti delle Pubbliche Amministrazioni) e con modalità didattiche diversificate (corsi di educazione e formazione, tirocini formativi, Percorsi per le Competenze trasversali e per l'orientamento).

I principi fondamentali dei tirocini formativi sono sanciti nel Decreto Ministeriale 25 marzo 1998, n. 142 recante "Regolamento recante norme di attuazione dei principi e dei criteri di cui all'articolo 18 della Legge 24 giugno 1997, n. 196, sui tirocini formativi e di orientamento" e nella Legge 24 giugno 1997, n. 196 "Norme in materia di promozione dell'occupazione", successivamente integrati con una produzione normativa di livello sia nazionale che regionale (in particolare per i tirocini extra-curriculare).

Il tirocinio curriculare è lo strumento messo a disposizione dal legislatore italiano affinché gli studenti del sistema scolastico, universitario o della formazione professionale possano approfondire quanto appreso durante il corso di studio, attraverso una esperienza concreta nel mondo del lavoro, quindi in organizzazioni complesse, seppur in un ambiente comunque "protetto".

Difatti il tirocinante curriculare, per alcuni limitati aspetti assimilato al lavoratore subordinato (normativa sulla salute e la sicurezza sul luogo di lavoro) non può, ad esempio, essere adibito a funzioni produttive se non al fine di conseguire i particolari obiettivi previsti dal progetto formativo, così come non è tenuto al rispetto di norme contrattuali di produttività o di scadenze produttive. Non ha, inoltre, diritto ad un compenso in quanto la finalità del tirocinio è puramente formativa. Il tirocinio è, infatti, svolto generalmente a titolo gratuito, fatta salva comunque la possibilità della corresponsione di *benefits* quali, ad esempio, buoni pasto o rimborso spese per viaggi.

L'attivazione di un tirocinio richiede l'espletamento di una complessa istruttoria, necessaria perché venga rispettata la normativa vigente in materia, che inizia con una collaborazione tra *soggetto proponente* (Università, Centro di formazione accreditata, Accademia, Fondazione di Istruzione Tecnica superiore (ITS), ecc.) e *soggetto ospitante* (in questo caso ISPRA) che si formalizza con la stipula di una Convenzione, in cui sono

declinati diritti ed obblighi delle parti e che può disciplinare l'attivazione di uno specifico tirocinio oppure, più genericamente, l'avvio di una pluralità di tirocini con il medesimo soggetto proponente.

Alla Convenzione segue un Progetto Formativo individuale per ciascun tirocinante avviato. Questo documento descrive, in particolare, i contenuti formativi specifici dell'esperienza di tirocinio, così come concordati tra il *tutor del soggetto proponente* e quello del *soggetto ospitante*, ossia da coloro che sono deputati a definire le attività formative in quanto in possesso delle competenze professionali adeguate ad indirizzare ed affiancare il tirocinante per gli aspetti tecnico-scientifici e per garantire il raggiungimento degli obiettivi del tirocinio, quindi il buon esito dello stesso.

Scopo di questo Quaderno è dare evidenza proprio a quella parte di attività formative su tematiche ambientali, avviate in ISPRA nel corso del 2022, mediante l'attivazione di tirocini curriculari

In questo Quaderno sono raccolte le relazioni elaborate dai tirocinanti e dai *tutor* ISPRA, testimonianze tangibili delle attività svolte, dell'interesse che gli studenti hanno per le tematiche ambientali e dell'impegno di ISPRA nel promuovere la formazione tecnico-scientifica in materia ambientale, anche attraverso le attività di tirocinio.

Un ringraziamento è, quindi, rivolto agli autori delle relazioni per aver contribuito alla realizzazione di questo Quaderno ed in particolare agli esperti ISPRA che, in qualità di *tutor*, hanno perseguito gli obiettivi formativi di ogni tirocinio, condividendo le proprie competenze professionali ed affiancando costantemente il tirocinante, per favorire un apprendimento esperienziale.

Elvira Gatta
Responsabile Sezione per la promozione
di progetti di alternanza formazione-lavoro
Area educazione e formazione ambientale
Servizio per l'educazione e formazione ambientale e
per il coordinamento tecnico delle attività di Direzione



Parte 1 - I TIROCINI

1. Indicatori e policy ambientali per i macrotemi “Cambiamenti climatici e “Inquinamento zero”

A cura di Aurora **Bobbio**, studente di Politiche per la sicurezza globale: ambiente, energia e conflitti, Università degli Studi Roma Tre; Cristina **Frizza**, tutor ISPRA, Servizio per l'informazione, le statistiche ed il reporting sullo stato dell'ambiente

1.1 Introduzione

L'esperienza di tirocinio ha rappresentato un'opportunità per integrare le conoscenze teoriche acquisite durante il percorso di studi della tirocinante con le competenze pratiche e professionali. Durante il periodo di tirocinio, sono state affrontate diverse attività che hanno contribuito a sviluppare una comprensione più approfondita del settore e delle dinamiche lavorative.

L'attività formativa è iniziata con un *excursus* sul contesto politico-normativo vigente su due macrotemi: Cambiamenti climatici e Inquinamento zero, al fine di mettere a fuoco le informazioni sullo stato dell'ambiente del Paese sotto la lente dei principali quadri di riferimento delle policies e normative, a livello internazionale, europeo e nazionale. Tale percorso si è concluso con la realizzazione di due documenti che a seguito di revisioni e adattamenti, sono stati utilizzati per la redazione della parte introduttiva dei capitoli “Cambiamenti climatici” e “Verso l'inquinamento zero” del report “L'Italia e l'ambiente: stato, prospettive e scenari”, pubblicato a ottobre 2023 da ISPRA (<https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/pubblicazioni-di-pregio/italia-e-ambiente-stato-prospettive-e-scenari>).

1.2 Obiettivi

Il tirocinio ha avuto come obiettivo la ricognizione delle politiche nazionali e internazionali in essere per due macrotemi “Cambiamenti climatici” e “Inquinamento zero” tramite lo studio dei principali piani e programmi ambientali vigenti (*Green Deal*, VIII Programma d'azione ambientale, Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza - PNRR, Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima - PNIEC, ecc.) e l'individuazione degli indicatori ambientali elaborati da ISPRA, utili al monitoraggio dei medesimi tematismi.

1.3 Attività svolta

L'attività di tirocinio si è svolta, dapprima, eseguendo una ricognizione e uno studio approfondito delle politiche ambientali in essere per i macrotemi “Cambiamenti climatici” e “Inquinamento zero” a seguito della condivisione dei principali documenti vigenti in materia, consultando la Banca dati indicatori ambientali di ISPRA, realizzata dal Servizio per l'informazione, le statistiche ed il *reporting* sullo stato dell'ambiente

(<https://indicatoriambientali.isprambiente.it/it>), che contiene più di 300 indicatori scelti per descrivere le diverse tematiche ambientali in cui è organizzata, e che è la base informativa per diversi *report* ambientali nazionali, europei e internazionali.

L'attività è proseguita con l'individuazione/selezione degli Indicatori ambientali utili al monitoraggio di entrambi i macrotemi (Tab 1.1 e Tab 1.2)

Tab 1.1 - Indicatori “Cambiamenti climatici”

Macro tema	Scheda	Indicatore	SDG/VIII PAA/EGD
Cambiamenti climatici	Clima in Italia	Temperatura media	 13 CLIMA
		Precipitazione cumulata	
	Gli impatti	Bilancio di massa dei ghiacciai	
		Temperatura acque marine	
		Livello del mare	
		Crescita del livello medio del mare a Venezia (ICLMM)	
		Internal flow	
	La mitigazione	Produzione di energia idroelettrica	
		Stato di salute delle popolazioni di uccelli migratori	
Industria energetica e trasporti: verso la mitigazione	La mitigazione	Emissioni di gas serra (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, HFCS, PFCS, SF ₆): Disaggregazione settoriale	 REDUCING our climate impact
		Emissioni di gas serra (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, HFCS, PFCS, SF ₆): trend e proiezioni	 VIII PAA
	Industria energetica e trasporti: verso la mitigazione	Emissioni di gas serra da processi energetici per settore economico	
		Consumi finali e totali di energia per settore economico	 REDUCING our climate impact
		Consumi totali di energia per fonti primarie	 REDUCING our climate impact
		Dipendenza energetica	
		Quota di energia da fonti rinnovabili nei consumi finali	 REDUCING our climate impact
	Industria energetica e trasporti: verso la mitigazione	Intensità energetiche finali settoriali e totale	 REDUCING our climate impact
		Certificati Bianchi	 REDUCING our climate impact

L'adattamento		Emissioni di gas serra dai trasporti	
		Domanda e intensità del trasporto passeggeri	VIII PAA
		Domanda e intensità del trasporto merci	
	L'adattamento	Perdite economiche dovute a eventi estremi legati al clima	
		Impatti della siccità sugli ecosistemi	
		Percentuale del territorio italiano soggetto a deficit e surplus di precipitazione	

Tab 1.2 - Indicatori "Verso l'inquinamento zero"

Macro tema	Scheda	Indicatore	SDG/VIII PAA/EGD
Verso l' inquinamento zero	L'inquinamento atmosferico: da dove arriva e su chi impatta	Emissioni di particolato (PM10): trend e disaggregazione settoriale	
		Emissioni di particolato fine (PM2,5): trend e disaggregazione settoriale	
		Qualità dell'aria: PM10	
	Esposizione della popolazione agli inquinanti atmosferici outdoor	Qualità dell'aria: PM2,5	
		Esposizione della popolazione agli inquinanti atmosferici outdoor - PM2,5	
		Esposizione della popolazione agli inquinanti atmosferici outdoor - PM10	
		Esposizione della popolazione agli inquinanti atmosferici outdoor - NO2	
		Esposizione della popolazione agli inquinanti atmosferici outdoor - ozono	
	L'uso dei pesticidi: strategie per il contenimento dei rischi	Qualità delle acque inquinamento da pesticidi	
		Uso e rischio dei prodotti fitosanitari chimici	
		Aziende agricole che aderiscono a misure ecocompatibili e che praticano agricoltura biologica	VIII PAA

Acque superficiali: lo stato dei fiumi e dei laghi italiani	Stato chimico delle acque superficiali interne		
	Stato ecologico delle acque superficiali interne		
Lo stato delle acque sotterranee: la principale fonte di ciò che beviamo	Stato chimico delle acque sotterranee (SCAS)		
	Stato quantitativo delle acque sotterranee (SQUAS)		
	Nitrati nelle acque sotterranee (NO3)		PROTECTING our planet and health VIII PAA
Lo stato delle acque marino costiere e di balneazione: una risorsa per il benessere dei cittadini	Classificazione delle acque di balneazione		
	Concentrazione Ostreopsis ovata		
	Stato chimico delle acque marino costiere		
	Stato ecologico delle acque marino costiere		
Un problema sulle spiagge come sui fondali profondi: i rifiuti	Monitoraggio strategia marina – rifiuti marini spiaggiati		
	Monitoraggio strategia marina - microrifiuti nello strato superficiale della colonna d'acqua		

L'attività si è conclusa con la redazione di due documenti, uno per ogni macrotema contenenti il quadro legislativo internazionale-europeo, che cita i principali riferimenti normativi e gli specifici obiettivi fissati dagli stessi, seguito dal quadro legislativo nazionale dove sono riportati i recepimenti dei Regolamenti previsti dalla Commissione Europea e le rispettive politiche ambientali italiane con i relativi obiettivi normativi da raggiungere per l'Italia.

1.4 Conclusioni

L'attività di tirocinio ha consentito alla tirocinante di acquisire una conoscenza approfondita delle attuali politiche ambientali e quali sono gli strumenti utili al monitoraggio delle stesse. Tramite l'analisi degli indicatori ambientali elaborati dall'ISPRA, per la studentessa è stato possibile imparare a leggere analiticamente e interpretare i dati che sintetizzano l'andamento dei vari indicatori. Inoltre, l'attività svolta in presenza ha permesso alla tirocinante di conoscere l'ambiente lavorativo e le dinamiche interagenti all'interno del Servizio.

Il tirocinio ha portato alla realizzazione di due testi.

Il primo riguardante i “cambiamenti climatici”, offre una prospettiva legislativa internazionale-europea e descrive, innanzitutto, le principali politiche che regolamentano il tema come il Green Deal, la Legge sul Clima (Regolamento UE 2019/2021) e l’VIII Programma d’Azione Ambientale. Successivamente, fornisce un analogo approfondimento sulla legislazione nazionale, descrivendo il PNIEC per il periodo 2021-2030, il Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC, nato dal Decreto direttoriale n.86 “Strategia Nazionale di adattamento ai Cambiamenti Climatici”) e gli obiettivi principali che l’Italia intende perseguire per favorire l’effettiva applicazione di tali politiche e di conseguenza rispettare i vincoli del diritto ambientale internazionale.

Il secondo testo, riguardante “l’inquinamento zero”, riporta in primo luogo, i regolamenti e le direttive europee considerate dalla politica ambientale europea in materia di “aria pulita”, “sostanze chimiche” e “qualità e gestione delle risorse idriche”. Per le stesse tematiche, viene offerto in seguito un approfondimento sulla normativa nazionale che recepisce le disposizioni europee e che illustra le linee guida e i metodi per perseguire gli obiettivi definiti.

I due documenti elaborati nel periodo di tirocinio, a seguito di revisioni e adattamenti, sono stati poi utilizzati per la redazione di alcune parti del report “L’Italia e l’ambiente: stato, prospettive e scenari”.

1.5 Bibliografia e Sitografia

Commissione Europea, COM (2022) 357 final, *Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle Regioni sul quadro di monitoraggio per l’8° programma di azione per l’ambiente: misurare i progressi compiuti verso la realizzazione degli obiettivi prioritari del programma per il 2030 e il 2050*

Commissione Europea, *Decisione (UE) 2022/591 del Parlamento europeo e del Consiglio del 6 aprile 2022 relativa a un programma generale di azione dell’Unione per l’ambiente fino al 2030*

ISPRA (2023). *L’Italia e l’ambiente: stato, prospettive e scenari*, in Pubblicazioni di pregio

MASE (2022). *Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici*

MiSE (2020). *Piano Nazionale Integrato per l’Energia e il Clima*

<https://indicatoriambientali.isprambiente.it/it>

2. La lettura del territorio: le acque di superficie e l'antropizzazione del suburbio meridionale di Roma. Il caso della cisterna di via Cristoforo Colombo a Roma

A cura di Margherita **Bottoni**, studentessa di Archeologia, Università degli Studi Roma Tre; Antonio **Colapietro**, tutor ISPRA, Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia

2.1 Introduzione

L'attività di tirocinio si è inserita all'interno di uno studio che il Dipartimento per il Servizio Geologico conduce da tempo, e che ha come oggetto la trasformazione indotta dall'antropizzazione recente (XX secolo) sull'idrografia di superficie nel suburbio meridionale di Roma. Dunque, il fulcro del tirocinio è stato l'elemento "acqua", indagato in relazione ai processi di antropizzazione. In particolare, è stata analizzata la complessa interazione tra uomo e ambiente nel corso dei secoli, con un *focus* sui cambiamenti del reticolo idrografico nell'area di indagine durante l'età moderna e contemporanea.

2.2 Obiettivi

Il principale obiettivo del tirocinio è stato l'analisi del rapporto tra l'antropizzazione e l'assetto geologico e geomorfologico del territorio oggetto di studio, con un *focus* specifico sull'intervento umano nella gestione e conservazione delle acque superficiali. In particolare, l'analisi si è concentrata sui cambiamenti nelle forme edilizie e nella viabilità in relazione allo sfruttamento delle risorse idriche locali.

Altro obiettivo fondamentale del percorso formativo è stata la sedimentazione di competenze tecnico-scientifiche nella raccolta, gestione e analisi di dati eterogenei all'interno di un ambiente GIS (*Geographical Information System*). Inoltre, è stato centrale lo sviluppo di capacità critiche nella lettura del paesaggio e nella comprensione delle sue trasformazioni diacroniche.

2.3 Attività svolta

L'intervento umano nel territorio del suburbio meridionale di Roma è stato analizzato attraverso uno studio cartografico e diacronico. Una delle principali attività del tirocinio ha riguardato la raccolta e lo studio comparativo di cartografia storica e fonti bibliografiche disponibili. In particolare, è stata condotta una lettura comparativa tra le carte catastali dette del "Primo Impianto", redatte in un periodo compreso tra gli anni Trenta e Cinquanta del XX secolo, e la Carta Tecnica Regionale del Lazio del 2014.

Le informazioni raccolte riguardanti il reticolo idrografico superficiale sono state sistematizzate all'interno di un ambiente GIS. In questa fase, sono stati digitalizzati i principali corsi d'acqua, la rete di canali e marrane, nonché i tracciati degli acquedotti

di epoca romana e medievale, insieme alle cisterne presenti nell'area di studio. Le informazioni relative a ciascun elemento sono state organizzate all'interno di "tabelle attributi", in cui sono stati indicati i vari idronimi, il foglio di riferimento nelle carte catastali, il numero del quadro d'unione e le fonti cartografiche e bibliografiche associate.

La messa a sistema di queste informazioni, insieme con l'analisi diacronica della cartografia, ha permesso di evidenziare come l'espansione urbanistica e l'attività antropica abbiano modificato profondamente la rete idrografica originale.

Parallelamente, il tirocinio ha incluso attività formative complementari con i ricercatori ISPRA che hanno fatto acquisire al tirocinante una maggiore familiarità con le caratteristiche geologiche della zona e di contestualizzare le informazioni raccolte sulle dinamiche geomorfologiche locali. In particolare:

- sono state approfondite la storia e le attività della biblioteca ISPRA e le principali collezioni, tra cui quelle di cartografia storica e geologica, per la contestualizzazione delle informazioni già raccolte in relazione alle dinamiche geomorfologiche locali;
- sono stati affrontati i temi della pianificazione di bacino e della gestione del rischio idrogeologico, l'idrogeologia e l'idrodinamica delle acque sotterranee, per comprendere la geologia del territorio in esame.

Le attività si sono focalizzate, da un lato, sulla visualizzazione e sull'interazione con i dati forniti dal sito ISPRA e dal web-GIS del Portale del Servizio Geologico d'Italia, approfondendo i possibili utilizzi nel campo della salvaguardia ambientale. Dall'altro lato, è stata descritta la metodologia di raccolta e archiviazione dei dati geologici direttamente sul campo, con esempi di applicazioni sviluppate e attualmente in uso al Servizio. Questi strumenti si sono rivelati particolarmente utili per comprendere come i dati geologici siano raccolti, gestiti e applicati alla pianificazione territoriale e alla mitigazione del rischio idrogeologico.

Successivamente, il tema centrale dello studio è stato la disciplina della geoarcheologia e le sue applicazioni nell'ambito dell'archeologia dei paesaggi. Questo approccio interdisciplinare si è rivelato particolarmente utile per comprendere come le metodologie geologiche possano essere integrate nello studio dei contesti archeologici. Sono stati presentati due casi studio: il settore sud-occidentale del Lago di Bolsena e l'antico porto di *Cumae*. Questi esempi hanno messo in luce come l'analisi geoarcheologica possa contribuire alla comprensione dell'interazione tra uomo e ambiente nel corso del tempo. Inoltre, è stato approfondito l'uso del drone per la ricostruzione e l'analisi del territorio, con cenni all'utilizzo del software *Metashape* per l'elaborazione di modelli 3D. Anche in questo caso, sono stati presentati due ulteriori casi studio: Tor Marancia e *Baiae*, che hanno evidenziato le potenzialità di queste tecnologie nel fornire dati spaziali ad alta risoluzione utili per la ricerca archeologica e la gestione del territorio.

Infine, è stato approfondito un caso studio nel paesaggio in esame, con l'obiettivo di integrare il punto di vista dell'archeologia dei paesaggi e quello dell'architettura. Durante il tirocinio, sono state suggerite alcune letture di approfondimento sul rapporto tra l'uomo e lo spazio che lo circonda, in un'ottica architettonica e urbanistica.

Per un'analisi diacronica dei cambiamenti avvenuti nel paesaggio, l'attenzione è stata focalizzata sullo studio del contesto in cui si inserisce la cisterna di epoca romana imperiale in Via Cristoforo Colombo a Roma (Fig 2.1). Questo contesto, infatti, ha subito numerose e significative trasformazioni nel corso dei secoli, in particolare a partire dagli anni Quaranta del XX secolo, con la realizzazione della suddetta arteria stradale.

Fig 2.1 - La cisterna romana lungo la via Cristoforo Colombo. Foto M. Bottoni



Da questo approfondimento è nata un'occasione per divulgare parte delle riflessioni emerse dal tirocinio, con la stesura di un contributo intitolato *"La cisterna romana lungo la via Cristoforo Colombo: stratigrafia e percezione di un elemento nel paesaggio"*.

2.4 Conclusioni

L'esperienza di questo tirocinio ha permesso alla tirocinante l'acquisizione e la sedimentazione di competenze tecnico-scientifiche, a partire dalla capacità di gestione di dati cartografici in ambiente GIS, per arrivare all'analisi e

all'interpretazione critica dei cambiamenti avvenuti nel territorio per mano dell'uomo, in relazione all'ambiente naturale che lo circonda.

Il tirocinio ha offerto l'opportunità di sperimentare un contesto professionale reale in cui la tirocinante ha vissuto una *routine* lavorativa a stretto contatto con ricercatori di varie discipline – in particolare architetti e geologi – favorendo un costante scambio di idee non solo sulle tematiche di ricerca, ma anche sul mondo professionale.

In particolare, è stato possibile approfondire la conoscenza - da un lato - di aspetti architettonici e urbanistici e - dall'altro - di aspetti geologici e geomorfologici. Ciò ha conferito un valore aggiunto all'esperienza di tirocinio, specialmente dal punto di vista di un'archeologa dei paesaggi.

A tal proposito, uno degli aspetti più interessanti dell'esperienza formativa, che merita di essere sottolineato, è l'avvenuta collaborazione interdisciplinare che ha consentito lo sviluppo di riflessioni critiche sul rapporto uomo-ambiente. Lo studio della geologia del territorio, ad esempio, è risultato cruciale per comprendere la localizzazione di edifici e strutture antiche in rapporto alla disponibilità di risorse idriche e alla stabilità del terreno. L'approfondimento delle tematiche urbanistiche ha stimolato una riflessione sul ruolo dell'immagine ambientale nella percezione della città contemporanea.

In conclusione, il tirocinio è stata l'occasione per sviluppare una metodologia di lavoro interdisciplinare, capace di integrare dati archeologici, storici e ambientali. Le nuove competenze acquisite, a seguito di questa esperienza, risultano fondamentali nel percorso formativo e professionale della tirocinante, implementando la capacità di analizzare i paesaggi, antichi e contemporanei, con una visione integrata e approfondita.

2.5 Bibliografia

Amanti M., Troccoli A., Vitale V., 2013. *Pericolosità geomorfologica nel territorio di Roma Capitale. Analisi critica di due casi di studio: la Valle dell'Inferno e la Valle dell'Almone. Memorie Descrittive Carta Geologica d'Italia XCIII* (2013), 35-66

Colapietro A., Monti G. M., Paolini A., 2020. *Considerazioni sui paesaggi storici e di produzione nel suburbio sud-est di Roma*, in Gallia A. (a cura di) Territorio: rischio/risorsa. Dalla mappa al GIS, collana del laboratorio cartografico "Giuseppe Caraci", Labgeo Caraci, Roma, 11-28

Farinetti E., 2012. *I paesaggi in archeologia: analisi e interpretazione*, Roma

Farinetti E., Giunta E., 2019. *Idronimi, toponimi e comportamenti. Per uno studio diacronico del paesaggio idrografico dell'Agro Romano*

Frutaz A. P., 1962. *Le piante di Roma*, Roma

-
- Funiciello R., Giordano G., 2008. *Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000. Foglio 374 "Roma" e Note Illustrative*, APAT - Servizio Geologico d'Italia
- Lynch K., 1964. *L'immagine della città (The Image of the City)*, Marsilio Editori, Venezia

3. Caratterizzazione di microsatelliti e selezione di pannelli per la valutazione genetica delle popolazioni di orso bruno (*Ursus arctos*) in Italia

A cura di Giovanni **Catania**, studente di Scienze e gestione della natura, Alma Mater Studiorum, Università di Bologna; Francesca **Davoli**, tutor ISPRA, Area per la Genetica della Conservazione – Servizio per il coordinamento delle attività della fauna selvatica

3.1 Introduzione

La genetica della conservazione si è dimostrata efficace nella valutazione delle possibilità di sopravvivenza delle specie, analizzando eterozigosi e diversità genetica.

Attraverso l'identificazione dei genotipi, consente di stimare la popolazione minima, le dimensioni effettive, ricostruire le parentele e le dinamiche demografiche. I metodi non invasivi, basati sull'analisi del DNA ambientale (eDNA) raccolto da materiale biologico come feci e peli lasciati dagli animali sul territorio, permettono lo studio di specie rare senza ricorrere alla manipolazione diretta, riducendo stress e rischi per gli animali.

Fra i marcatori genetici di cui si avvale la genetica di popolazione, i microsatelliti (*short tandem repeats* - STR) sono ampiamente utilizzati nel monitoraggio non invasivo. Questi marcatori sono apprezzati per il loro costo contenuto e la capacità di essere amplificati in modo affidabile dall'eDNA.

In Italia esistono due popolazioni di orso bruno isolate: l'orso bruno marsicano (*Ursus arctos marsicanus* - Uam), un taxon endemico italiano in pericolo critico secondo l'IUCN (Unione Mondiale per la Conservazione della Natura), e l'orso bruno alpino (*Ursus arctos arctos* - Uaa), derivato da una traslocazione di 10 individui sloveni in Trentino 20 anni fa, finalizzata a salvare dall'estinzione i pochi orsi autoctoni ancora presenti.

Mentre il futuro di entrambe resta incerto, la popolazione di Uaa ha mostrato segnali positivi, grazie ai numerosi eventi riproduttivi documentati.

La bassa variabilità genetica di Uam e il limitato potere discriminante dei marcatori utilizzati attualmente per il monitoraggio genetico dell'orso bruno in Italia compromettono l'affidabilità dell'identificazione individuale nel lungo periodo.

Inoltre, i metodi di genetica non invasiva soffrono di errori di genotipizzazione (falsi alleli e *drop out* allelico) che possono portare a identificazioni errate.

È quindi essenziale sviluppare set di marcatori più variabili per migliorare la precisione della genotipizzazione e garantire un monitoraggio delle popolazioni affidabile nel tempo.

3.2 Obiettivi

Questo studio utilizza gli indici di variabilità genetica per sviluppare un metodo oggettivo di classificazione dei marcatori STR (*Short Tandem Repeats*, o microsatelliti), al fine di progettare pannelli efficienti per la genotipizzazione a basso costo delle specie minacciate.

Sono stati analizzati campioni invasivi e non invasivi di Uam e Uaa tramite elettroforesi capillare, valutando le prestazioni di quattro set di marcatori STR:

1. *CURRENT*: i loci attualmente usati nei laboratori italiani (13 loci per Uam e 15 per Uaa);
2. *NEW*: un nuovo set di 13 STR sviluppato per il sequenziamento ad alto rendimento (*high-throughput Sequencing - HTS*), originariamente applicato a popolazioni di orso bruno pirenaiche e dinariche;
3. *TOT*: l'insieme completo dei loci (26 loci per Uam e 28 loci per Uaa);
4. *BEST*: i sottoinsiemi di loci con il maggiore potere risolutivo per l'identificazione individuale, specifici per ciascuna popolazione, ideali per progetti di monitoraggio a lungo termine (v. §1.3.3 Risultati).

3.3 Attività svolta

3.3.1 Selezione dei campioni

Lo studio ha analizzato 44 campioni biologici di altrettanti orsi selvatici, equamente distribuiti tra le due popolazioni italiane: 22 da Uam (Italia centrale) e 22 da Uaa (Italia settentrionale). Tra questi, 17 campioni erano invasivi (sangue e tessuti prelevati da orsi catturati per ricerca o da carcasse) e 27 non invasivi (peli e feci raccolti sul campo). La scelta di utilizzare entrambe le tipologie di campioni ha permesso di valutare l'efficacia dei marcatori genetici su diversi tipi di DNA.

Il campionamento è avvenuto su terreni pubblici, rispettando i principi di non disturbo degli animali e dell'ambiente.

Gli orsi coinvolti non rientrano nella definizione di animali da esperimento secondo la Direttiva UE 2010/63 e la maggior parte dei campioni è stata raccolta in modo non invasivo, evitando catture o manipolazioni dirette degli animali. Una minoranza di orsi è stata trovata morta e i campioni di tessuto sono stati prelevati dalle carcasse. Gli altri campioni invasivi sono stati ottenuti da orsi catturati vivi a scopo di ricerca e rilasciati sul posto subito dopo la manipolazione. Le catture sono state autorizzate dal Ministero dell'Ambiente (m_amte.PNM.REGISTRO UFFICIALE.U.5344.17-03-2014; 6270.28-03-2017; 12959.14-06-2018).

3.3.2 Genotipizzazione e analisi dei loci microsatelliti

Le analisi genetiche sono state svolte presso l'Area di Genetica della Conservazione dell'ISPRA e la Piattaforma tecnologica "DNA Animale, Ambientale e Antico" della Fondazione E. Mach, utilizzando protocolli armonizzati.

Il DNA genomico è stato estratto con il *kit QIAGEN DNeasy® Blood & Tissue Kit*, utilizzando una *workstation* robotizzata (*QIAcube*). Per i campioni non invasivi, che spesso presentano DNA diluito e degradato, è stato adottato un approccio a provette multiple, con controlli positivi e negativi per evitare errori stocastici: i genotipi *multilocus* sono stati ottenuti da quattro repliche di PCR (*Polymerase chain reaction*) indipendenti, seguendo protocolli specifici. I frammenti STR sono stati analizzati mediante elettroforesi capillare con un sequenziatore *ABI Prism 3130XL*.

È stata valutata la diversità genetica, considerando frequenze alleliche, numero medio di alleli per *locus* (Na), numero effettivo di alleli (Ne), indice di informatività di *Shannon* (I), eterozigosi osservata (Ho) e attesa (UHe), equilibrio di *Hardy-Weinberg* (HWE), e probabilità di identità per individui non imparentati (PID) e per fratelli (PIDsib). Il potere discriminante dei marcatori STR per l'identificazione individuale è stato valutato analizzando il contenuto informativo del polimorfismo (PIC), la probabilità di identità tra fratelli (PIDsib), e i tassi di errore di genotipizzazione (ADO e FA). Infine, sono stati selezionati i marcatori più informativi (*set BEST*), scegliendo quelli che presentavano simultaneamente, per ogni popolazione, PIC > 0,35, ADO < 0,10, FA = 0 e PID < 0,40.

Per selezionare il *set* ottimale di marcatori per il monitoraggio genetico a lungo termine fra i quattro *set* considerati (*CURRENT*, *NEW*, *TOT*, *BEST*), sono stati confrontati diversi parametri:

1. probabilità di identità per il numero crescente di loci (PID);
2. probabilità di identità per coppie di fratelli (PIDsib);
3. numero di *mismatch* osservati tra coppie di genotipi diversi che corrispondevano a tutti i loci (0-MM) e a vari numeri di loci esclusi (1-MM, 2-MM, 3-MM);
4. *marker index* (MI), un parametro che misura l'utilità complessiva del *set* di marcatori. Il MI è il prodotto del PIC e dell'*effective multiplex ratio* (EMR). Un MI più elevato indica un marcitore più informativo. L'EMR è calcolato come il rapporto tra il numero totale di alleli efficaci (per *primer*) e il numero totale di *primer*, e un EMR più alto indica un *set* di marcatori più efficiente.

3.3.3 Risultati

Sono stati genotipizzati 8 campioni di DNA da sangue, 6 da tessuti/ossa, 28 da pelo e 2 da feci, provenienti dalla biobanca nazionale dell'Area di Genetica della Conservazione di ISPRA.

Gli errori di genotipizzazione del set CURRENT sono stati estrapolati da studi precedenti. Tutti i marcatori del set NEW sono stati amplificati con un tasso di successo del 100% in Uam e del 99% in Uaa.

Dei 13 loci, tutti sono risultati polimorfici in Uaa, mentre 3 sono risultati monomorfici in Uam. Nessun marcitore ha mostrato deviazioni significative dall'equilibrio di Hardy-Weinberg dopo la "correzione di Bonferroni". Tutti i parametri di diversità genetica considerati sono risultati più elevati in Uaa rispetto a Uam (Tab 3.1). I campioni invasivi (11 da Uam e 6 da Uaa) hanno mostrato una bassa incidenza di errori, mentre quelli non invasivi (6 da Uam e 17 da Uaa) hanno mostrato tassi di errore più alti, variabili tra 1,9% e 12,1%, ma senza falsi alleli (FA). I valori di PID e PIDsib hanno indicato che i loci più informativi per l'identificazione individuale sono UA25 in Uam e UA16 in Uaa.

Tab 3.1 – Parametri di diversità genetica ed errori di genotipizzazione di 13 marcatori STR (NEW set) di 44 genotipi di orso bruno italiano U. a. marsicanus (Uam) e U. a. arctos (Uaa). In tabella sono inclusi: numero di *multiplex PCR*, dye dei primer microsatellite, intervallo di alleli, numero di alleli (Na), numero effettivo di alleli (Ne), eterozigosità osservata (Ho) e unbiased attesa (UHe), indice di informatività di Shannon (I), equilibrio di Hardy-Weinberg (HWE), probabilità di identità per individui non imparentati (PID) o fratelli (PIDsib), dropout allelici (ADO) e falsi alleli (FA).

Locus	Multiplex	Dye	Allele Range		Na		Ne		Ho		UHe		I		HWE		PID		PIDsib		ADO		FA					
			Uam	Uaa	Uam	Uaa	Uam	Uaa	Uam	Uaa	Uam	Uaa	Uam	Uaa	Uam	Uaa	Uam	Uaa	Uam	Uaa	Uam	Uaa	Uam	Uaa				
UA03	1	FAM	100-104	96-104	2	3	1.046	2.822	0.045	0.727	0.045	0.661	0.108	1.066	ns	ns	0.91	0.20	0.96	0.48	0.25	0	0	0	0			
UA06	1	FAM	115-119	103-115	2	3	1.046	2.822	0.045	0.455	0.045	0.383	0.060	1.066	ns	ns	0.91	0.16	0.96	0.47	0.27	0	0	0	0			
UA14	2	HEX	145-161	139-155	2	4	1.953	4.569	0.379	0.797	0.379	0.502	0.679	0.684	1.207	ns	ns	0.38	0.17	0.60	0.46	0.17	0	0	0	0		
UA16	2	HEX	122	106-126	1	6	1	4.939	0	0.864	0	0.816	0	1.669	mono	ns	1	0.07	1	0.37	0	0	0	0	0	0		
UA17	1	FAM	134	138-146	1	3	1	2.568	0	0.545	0	0.625	0	1.018	mono	ns	1	0.22	1	0.50	0	0	0	0	0	0		
UA25	1	PET	105-125	105-117	4	3	2.696	1.678	0.773	0.318	0.644	0.413	1.136	0.726	ns	ns	0.20	0.39	0.48	0.65	0	0.06	0	0.03	0	0		
UA51	1	AAM	120-124	120-124	2	3	1.045	2.822	0.045	0.727	0.045	0.661	0.108	1.066	ns	ns	0.94	0.20	0.96	0.48	0.25	0	0	0	0	0	0	
UA57	3	FAM	108-116	112-116	2	3	1.936	4.482	0.545	0.409	0.495	0.333	0.677	0.507	1.742	ns	ns	0.38	0.51	0.60	0.71	0.06	0	0	0	0	0	0
UA63	2	NED	114	117-121	1	3	1	1.738	0	0.364	0	0.434	0	0.739	mono	ns	1	0.38	1	0.63	0	0	0	0	0	0	0	0
UA64	2	PET	113-121	105-109	3	2	2.513	1.713	0.667	0.500	0.617	0.426	1	0.607	ns	ns	0.23	0.43	0.51	0.65	0.04	0.02	0	0	0	0	0	0
UA65	2	FAM	127-135	123-135	2	4	1.365	2.623	0.318	0.773	0.274	0.633	0.438	1.142	ns	ns	0.57	0.20	0.76	0.49	0.07	0.03	0	0	0	0	0	0
UA67	3	NED	124-132	124-132	3	3	2.665	1.809	0.762	0.591	0.649	0.458	1.028	0.707	ns	ns	0.22	0.39	0.48	0.62	0.05	0.07	0	0	0	0	0	0
UA68	3	HEX	129-141	105-137	2	4	1.308	2.942	0.273	0.495	0.241	0.675	0.398	1.150	ns	ns	0.61	0.18	0.79	0.47	0	0	0	0	0	0	0	0

Anche considerando il set TOT, la diversità genica (GD) è risultata maggiore in Uaa rispetto a Uam (0,61 vs. 0,40), con 20 su 28 loci analizzati in Uaa risultati altamente polimorfici ($\text{PIC} \geq 0,5$), contro i 5 su 26 di Uam (Tab 3.2). Sulla base dei valori di PIC, tassi di errore, mismatches e PID, sono stati selezionati due set BEST, uno per ogni popolazione: 9 loci per Uam e 12 loci per Uaa (set BEST).

Tab 3.2 – Dettagli dei quattro set di marcatori confrontati in questo studio. In tabella sono inclusi, per ogni set, i valori medi di: Major Allele Frequency (MAF), Gene Diversity (GD), Polymorphic Information Content (PIC), Allelic Drop-Out (ADO), False Alleles (FA) e Probability of Identity (PID). I diversi parametri osservati per le singole popolazioni sono indicati nel seguente ordine: *U. a. marsicanus* (Uam) / *U. a. arctos* (Uaa).

Set	MAF	GD	PIC	ADO	FA	PID
CURRENT	0,67/0,44	0,43/0,67	0,35/0,62	0,05/0,08	0,01/0,03	$3,2 \times 10^{-6}$ / $2,8 \times 10^{-12}$
NEW	0,72/0,58	0,36/0,55	0,31/0,49	0,06/0,01	0/0	$3,6 \times 10^{-4}$ / $1,6 \times 10^{-8}$
TOT	0,69/0,51	0,40/0,61	0,33/0,56	0,06/0,05	0/0,02	$1,1 \times 10^{-9}$ / $5,2 \times 10^{-21}$
BEST	0,57/0,42	0,53/0,69	0,45/0,64	0,04/0,02	0/0	$2,0 \times 10^{-5}$ / $6,9 \times 10^{-11}$

Fonte: elaborazione a cura degli Autori

Tra i quattro set di marcatori (*CURRENT*, *NEW*, *TOT*, *BEST*), i valori più elevati di diversità genetica (UHe, GD e PIC) sono stati registrati per il set *BEST* in entrambe le popolazioni (Tab 3.3). Nonostante in Uam il set *BEST* abbia mostrato un segnale di *mismatch* tra i genotipi ($2\text{MM} = 1,65 \times 10^{-2}$; $3\text{MM} = 1,86 \times 10^{-2}$), i set *BEST* identificati hanno comunque mostrato valori di MI più elevati per entrambe le popolazioni.

Tab 3.3 – Variabilità genetica descritta dai quattro set di STR confrontati durante il tirocinio per le due popolazioni di orso italiane. I diversi parametri osservati per le singole popolazioni sono indicati nel seguente ordine: *U. a. marsicanus* (Uam) / *U. a. arctos* (Uaa).

Set	Ne	Ho	UHe	0MM	1MM	2MM	3MM	PID	PIDsib	EMR	MI
CURRENT	1,904 / 3,336	0,463 / 0,694	0,461 / 0,685	0 / 0	0 / 0	$4,13 \times 10^{-3}$ / 0	$4,13 \times 10^{-3}$ / 0	$3,2 \times 10^{-6}$ / $2,8 \times 10^{-12}$	$1,9 \times 10^{-3}$ / $1,5 \times 10^{-5}$	1,90 / 3,34	0,67 / 2,08
NEW	1,587 / 2,450	0,316 / 0,570	0,276 / 0,561	$4,13 \times 10^{-3}$ / 0	$6,20 \times 10^{-3}$ / 0	$3,51 \times 10^{-2}$ / 0	$6,40 \times 10^{-2}$ / 0	$3,6 \times 10^{-4}$ / $1,6 \times 10^{-8}$	$2,2 \times 10^{-2}$ / $3,1 \times 10^{-4}$	2,05 / 2,45	0,64 / 1,20
TOT	1,746 / 2,925	0,389 / 0,636	0,368 / 0,627	0 / 0	0 / 0	0 / 0	$2,07 \times 10^{-3}$ / 0	$1,1 \times 10^{-9}$ / $5,2 \times 10^{-21}$	$4,2 \times 10^{-5}$ / $2,0 \times 10^{-9}$	1,75 / 2,92	0,58 / 1,64
BEST	2,180 / 3,365	0,613 / 0,716	0,545 / 0,706	0 / 0	0 / 0	$1,65 \times 10^{-2}$ / 0	$1,86 \times 10^{-2}$ / 0	$2,0 \times 10^{-5}$ / $6,9 \times 10^{-11}$	$5,3 \times 10^{-3}$ / $5,4 \times 10^{-5}$	2,18 / 3,37	0,97 / 2,09

Fonte: elaborazione a cura degli Autori

3.4 Conclusioni

Per selezionare il minor numero di loci necessari per l'identificazione ottimale dei singoli genotipi *multilocus*, garantendo l'identificazione certa degli animali in una popolazione naturale, è fondamentale costruire un *set* di marcatori appropriato.

L'informatività di un *set* di marcatori dipende dal loro grado di polimorfismo. Molti studi hanno utilizzato pannelli microsatelliti per affrontare problematiche legate alle specie in via di estinzione, ma finora la selezione dei marcatori STR si è basata principalmente sulla presenza di polimorfismo nel singolo marcitore, senza ottimizzare i *set* scelti. Nel tempo, per piccole popolazioni isolate, questo porta alla necessità di un numero sempre crescente di marcatori per mantenere un'identificazione affidabile degli individui, a causa della riduzione della variabilità genetica provocata dall'incremento dell'*inbreeding* derivante da accoppiamenti tra consanguinei.

Applicando il metodo sviluppato durante il tirocinio a popolazioni di orso bruno in Italia, sono stati identificati i *set BEST* per entrambe le popolazioni di orso italiane, riducendo il numero di marcatori (da 13 a 9 in Uam, da 15 a 12 in Uaa), diminuendo il rischio di errori di genotipizzazione (ADO da 0,05 a 0,04 in Uam, da 0,08 a 0,02 in Uaa; FA da 0,01 a 0 in Uam e da 0,03 a 0 in Uaa) e riducendo il costo della genotipizzazione.

Il lavoro svolto durante questo tirocinio rappresenta un tentativo pionieristico di ridurre i costi e gli sforzi di laboratorio, selezionando i *set* di marcatori più efficienti. Questo approccio ha il potenziale di essere applicato alla caratterizzazione genetica di piccole popolazioni isolate, migliorando il compromesso tra affidabilità, tempo e costi delle analisi genetiche e fornendo uno strumento utile per la gestione a lungo termine delle specie minacciate.

3.5 Bibliografia

Bombieri, G.; Penteriani, V.; Delgado, M.D.M.; Groff, C.; Pedrotti, L.; Jerina, K. *Towards understanding bold behaviour of large carnivores: The case of brown bears in human-modified landscapes*. Anim. Conserv. 2021, 24, 783–797

Buono, V.; Burgio, S.; Macrì, N.; Catania, G.; Hauffe, H.C.; Mucci, N.; Davoli, F. *Microsatellite Characterization and Panel Selection for Brown Bear (*Ursus arctos*) Population Assessment*. Genes 2022, 13, 2164. <https://doi.org/10.3390/genes13112164>

Ciucci, P.; Boitani, L. The Apennine brown bear: A critical review of its status and conservation problems. Ursus 2008, 19, 130–145

-
- Davoli, F.; Cozzo, M.; Angeli, F.; Groff, C.; Randi, E. Infanticide in brown bear: A case-study in the Italian Alps—Genetic identification of perpetrator and implications in small populations. *Nat. Conserv.* 2018, 25, 55–75
- De Barba, M.; Miquel, C.; Lobréaux, S.; Quenette, P.Y.; Swenson, J.E.; Taberlet, P. High-throughput microsatellite genotyping in ecology: Improved accuracy, efficiency, standardization and success with low-quantity and degraded DNA. *Mol. Ecol. Resour.* 2017, 17, 492–507
- De Barba, M.; Waits, L.P.; Garton, E.O.; Genovesi, P.; Randi, E.; Mustoni, A.; Groff, C. *The power of genetic monitoring for studying demography, ecology and genetics of a reintroduced brown bear population.* *Mol. Ecol.* 2010, 19, 3938–3951
- Gervasi, V.; Ciucci, P.; Boulanger, J.; Posillico, M.; Sulli, C.; Focardi, S.; Randi, E.; Boitani, L. A preliminary estimate of the Apennine brown bear population size based on hair-snag sampling and multiple data source mark–recapture Huggins models. *Ursus* 2008, 19, 105–121
- Nagaraju, J.; Reddy, K.D.; Nagaraja, G.M.; Sethuraman, B.N. Comparison of multilocus RFLPs and PCR-based marker systems for genetic analysis of the silkworm, *Bombyx mori*. *Heredity* 2001, 86, 588–597
- Peters, W.; Hebblewhite, M.; Cavedon, M.; Pedrotti, L.; Mustoni, A.; Zibordi, F.; Groff, C.; Zanin, M.; Cagnacci, F. *Resource selection and connectivity reveal conservation challenges for reintroduced brown bears in the Italian Alps.* *Biol. Conserv.* 2015, 186, 123–133
- Powell, W.; Morgante, M.; Andre, C.; Hanafey, M.; Vogel, J.; Tingey, S.; Rafalski, A. *The comparison of RFLP, RAPD, AFLP and SSR (microsatellite) markers for germplasm analysis.* *Mol. Breed.* 1996, 2, 225–238
- Scarpulla, E.; Boattini, A.; Cozzo, M.; Giangregorio, P.; Ciucci, P.; Mucci, N.; Randi, E.; Davoli, F. *First core microsatellite panel identification in Apennine brown bears (*Ursus arctos marsicanus*): A collaborative approach.* *BMC Genom.* 2021, 22, 623

4. Elementi e osservazioni geologiche dell'area Arburese

*A cura di Sofia **Cotza**, studentessa di Scienze geologiche, Università degli Studi di Cagliari; Monica **Serra**, tutor ISPRA, Servizio per la geologia strutturale e marina, il rilevamento e la cartografia geologica*

4.1 Introduzione

L'argomento del seguente testo raggruppa una serie di caratteristiche geologiche osservate lungo un percorso per tappe in diverse giornate.

Il tragitto in questione segue, sostanzialmente, sentieri già esistenti che appartengono al cosiddetto "Cammino minerario di Santa Barbara" che, a sua volta, comprende anche altre aree del Sulcis-iglesiente, non considerate per questo tirocinio.

4.2 Obiettivi

L'obiettivo del tirocinio è consistito nello studio e descrizione della geologia dell'area scelta, in cui ricadono le tappe del percorso, evidenziandone alcune peculiarità da porre in relazione agli aspetti storici del territorio.

Ciò ha consentito la visione completa delle caratteristiche del territorio, anche al fine della sua valorizzazione turistico culturale e, allo stesso tempo, ha rappresentato un possibile sbocco professionale che accosta la geologia alla realtà territoriale e sociale.

4.3 Attività svolta

Le attività sono state svolte secondo le seguenti fasi:

- raccolta informazioni bibliografiche;
- fotointerpretazione (Fig. 4.1) presso il Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche (DSCG) dell'Università degli Studi di Cagliari e presso l'Agenzia Regionale di Protezione dell'Ambiente – ARPAS;
- pianificazione del percorso;
- campionamento rocce rappresentative;
- stesura dell'elaborato finale.

Fig 4.1 - Esempio di fotointerpretazione dell'area in esame



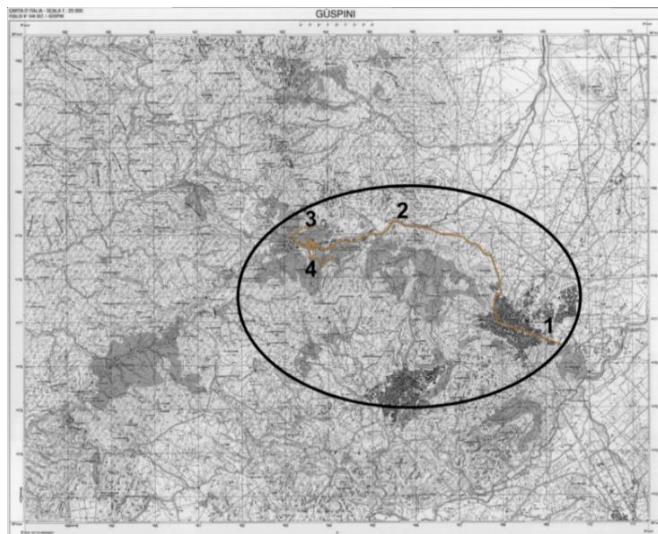
Fonte: elaborazione S. Cotza su documenti Università degli Studi di Cagliari

Il breve percorso ideato e seguito per lo svolgimento del tirocinio, trae spunto dagli elementi storico-culturali del cammino minerario di Santa Barbara, uniti agli aspetti didattici affrontati nel corso degli studi universitari, come di seguito descritto.

L'ubicazione geografica (Fig 4.2) del settore in questione ricade nel Foglio 546 sez. I Guspini, quindi a Sud-Ovest della Sardegna, in cui vi è la zona conosciuta col nome "Arburese", dove sono presenti aree urbanizzate, terreni agricoli o da pascolo ed altre zone incolte. I principali centri abitati sono Guspini, Arbus e la sua frazione Monteverchio, sede dell'omonima miniera ormai chiusa.

Topograficamente si tratta di un contesto collinare ad est, con quote che vanno da 70 a 560 m s.l.m., e di un paesaggio di montagna ad occidente.

Fig 4.2 - Ubicazione geografica



Fonte: elaborazione S. Cotza su documenti Università degli Studi di Cagliari

4.3.1 La geologia del settore

La successione stratigrafica consiste, dal termine più antico al più recente, in:

- successione pre-Ordoviciano medio (513-470 Ma);
- complesso plutonico del Carbonifero sup. – Permiano (307-298 Ma);
- complesso intrusivo filoniano del Carbonifero sup. – Permiano (307-298 Ma);
- successioni marine e transizionali del Trias medio – Cretaceo inf. (247-145 Ma);
- ciclo vulcanico calcalcalino oligo-miocenico (14-32 Ma);
- depositi continentali e successione marina Post Eocene medio – Miocene inf. (45-23 Ma);
- ciclo vulcanico ad affinità alcalina, transizionale e subalcalina del Plio – Pleistocene (0,14-5,3 Ma).

Tappa n.1 (39°32'21" N e 8°38'05" E Cuc.re Zeppara (q.167 m s.l.m.): la prima tappa del percorso permette di osservare il fronte di cava costituito da una particolare struttura geologica di origine vulcanica, caratterizzata da fratturazione colonnare (*columnar jointing*), conosciuta meglio come "canne d'organo" (Fig 4.3).

Fig 4.3 - Panoramica fronte di cava, conosciuto come "canne d'organo". Foto S. Cotza



Questa formazione si consolidò tra il Miocene ed il Plio-quaternario, a seguito di fenomeni vulcanici e al contemporaneo sprofondamento del Campidano.

La giacitura media rilevata è N110 S 78°, mentre dall'alto e, in superficie, si identificano sezioni esagonali e meno frequentemente pentagonali, probabilmente per fenomeni erosivi. In certi punti le sezioni affiorano come dei pavimenti con le seguenti misure: 19-22 cm per lato e 20-30 cm di diametro (Fig 4.4).

Fig 4.4 – Misurazioni. Foto S. Cotza



L'origine di queste strutture colonnari deriva dal raffreddamento del *melt* (roccia allo stato fuso) basico, che fluiva parallelamente alla superficie del terreno, contraendosi e spaccandosi in crepe, prima dall'alto (dove la temperatura era fredda rispetto a quella entro il volume lavico fluente), e poi le colonne si sono generate perpendicolarmente al flusso, in tempi lunghi. Infatti, la formazione non ha nulla a che vedere con la dinamica di flusso.

Mentre il *melt* si raffredda, il volume diminuisce e lascia spazio alle fratture di estensione; la geometria della sezione dipende dal raffreddamento della materia che avviene perpendicolarmente alla base e lungo tre direzioni del fronte di raffreddamento, che si instaura dai margini del *melt* (*cooling front*) e con rapidità (come suggerisce la spaziatura sottile tra le colonne), con la sommità della struttura intera raffreddata più velocemente rispetto alla base (*cooling rate*).

Tale monumento naturale (nominato patrimonio dell'umanità dall'Unione Europea) è ben visibile grazie al fronte della cava da cui si estraevano i blocchi per la costruzione degli edifici del comune.

Tappa n.2 (39°33'35" N e 8°35'49" E): fronte di cava di circa 70 m d'altezza e 20 m di lunghezza, dall'aspetto caotico e con sparse discontinuità.

Tappa n.3 (39° 32' 23.85" N, 8° 37' 36.02" E): Il complesso minerario situato proprio nei versanti della valle a V ospita strutture di deposito di rifiuti estrattivi, terrazzate, che riscoprono una superficie di circa 195 m², con la vegetazione che ne evidenzia i confini.

Soprattutto in questa tappa è risultata molto utile l'analisi delle foto aeree, che ha permesso di ipotizzare una relativa stabilità dei depositi, grazie anche alla presenza di vegetazione che, allo stesso tempo, limita l'azione erosiva delle acque piovane e del vento, soprattutto sulle particelle più fini, spesso trasportate verso il Rio di Montevercchio. Ad ovest, dove le quote arrivano a 200-235 m s.l.m., ci sono le miniere di Levante, con il cantiere di Sciria, le miniere di Piccalinna, la laveria Principe e la miniera di Sant'Antonio.

Tappa n.4 (39°33'14" N e 8°34'30" E): è presente una cavità che dà forma ad un arco la cui litologia dovrebbe essere metamorfica, e dalla grana pare essere una metarenaria in cui si riconoscono vene quarzose e metallifere.

Tale ammasso si trova in un settore del versante la cui pendenza immerge verso la valle dove è presente il complesso minerario di Montevercchio, e sembra quasi essere la porzione di una struttura intrusiva.

4.4 Conclusioni

Il mestiere del geologo si applica a vari settori con fasi di lavoro da condurre a tavolino e fasi in campo che, con questo tirocinio, si è cercato di svolgere, come indicato:

1. studio della bibliografia e analisi territoriale mediante fotointerpretazione ed osservazione della cartografia, pianificazione del percorso da seguire;
2. riconoscimento macroscopico delle litologie in situ e campionamento per osservazioni di dettaglio in laboratorio (previa esecuzione di sezioni sottili), riconoscimento di tracce dell'attività antropica nel territorio.

Aspetti didattici

Le attività svolte hanno consentito la familiarizzazione con la fotointerpretazione ed una certa dimestichezza con l'individuazione dei piani di volo e dell'altro materiale e strumentazione disponibili presso gli archivi di cartografia dell'Università di Cagliari, e la successiva ubicazione su carta topografica dei siti da verificare in campo.

Il successivo lavoro in campo ha favorito l'osservazione diretta di allineamenti ed altri elementi strutturali (anche su base bibliografica) del territorio scelto, il riconoscimento di aree a rischio geologico o potenzialmente pericolose, la distinzione tra morfologie naturali e antropiche, anche attraverso la valutazione soggettiva di strutture di deposito di rifiuti estrattivi storici.

4.5 Bibliografia e Sitografia

Annino E., Barca S., Costamagna L. G., 2000. *Lineamenti stratigrafico-strutturali dell'Arburese (Sardegna sud-occidentale)*, Vol. 70

<https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/periodici-tecnici/memorie-descrittive-della-carta-geologica-ditalia/geologia-della-sardegna-2013-note-illustrative-della-carta-geologica-della-sardegna-a-scala-1-200.000>

<https://www.minieredisardegna.it/Schede.php?IdSC=7>

<https://www.alexstrekeisen.it>

<http://www.minieramontevercchio.it/minerali/>

5. Other Effective Area-based Conservation Measures (OECD) per la tutela della biodiversità: analisi e valutazione delle aree sottoposte a vincolo paesaggistico

A cura di **Valentina Angela Cumbo**, studentessa di Scuola di Specializzazione in beni naturali e territoriali, Sapienza Università di Roma; **Serena D'Ambrogi**, tutor ISPRA, Servizio per la sostenibilità della pianificazione territoriale, per le aree protette e la tutela del paesaggio, della natura e dei servizi ecosistemici terrestri

5.1 Introduzione

Obiettivo del tirocinio è stato quello di costruire un quadro di conoscenza e riferimento delle *Other Effective Area-based Conservation Measures* (OECD), intese quali aree diverse dalle aree protette, governate e gestite anche per il raggiungimento di risultati positivi e a lungo termine per la conservazione *in situ* della biodiversità, con funzioni e servizi ecosistemici associati e, ove applicabile, valori culturali, spirituali, socio-economici e altri valori rilevanti a livello locale. Tale quadro è stato costruito con specifico riferimento alle aree sottoposte a vincolo paesaggistico ai sensi del D. Lgs. 42/2004 "Codice dei beni culturali e del paesaggio", così come individuate e normate nei Piani Paesaggistici Regionali, inserendosi nelle attività del Ministero dell'ambiente e della sicurezza energetica (MASE) per il raggiungimento degli obiettivi della Strategia Europea per la Biodiversità.

5.1.1 La conservazione della biodiversità

La **tutela della biodiversità** è una delle principali tematiche affrontate a livello mondiale e i diversi Stati si stanno attivando per individuare e promuovere opportuni provvedimenti.

A tal fine, in Europa sono state introdotte diverse direttive, come la direttiva "Uccelli" ([Direttiva 79/409/CEE](#)) e la direttiva "Habitat" ([Direttiva 92/43/CEE](#)), atte a garantire il mantenimento a lungo termine degli habitat naturali e delle specie di flora e fauna minacciati o rari a livello comunitario; grazie a tali Direttive, è stata, inoltre, istituita una rete di aree protette molto ampia, ovvero la Rete Natura 2000.

Oltre a questi strumenti, si ricordano altre importanti iniziative, come il [Provvedimento per gli impollinatori](#) ed il programma di finanziamento [LIFE](#). Recentemente, inoltre, la [Strategia Europea per la biodiversità per il 2030](#) (SEB) (adottata in seguito alla constatazione del mancato raggiungimento degli [obiettivi di Aichi](#)) ha previsto, tra gli altri importanti obiettivi, che entro il **2030** si venga a creare una rete di zone protette che corrisponda al **30%** della superficie terrestre e marina con lo specifico scopo di tutelare la biodiversità. Per il raggiungimento di tale obiettivo, è previsto che, oltre all'attuale rete di aree protette, si possano prendere in

considerazione anche altre aree, tra cui le *Other effective area-based conservation measures* (OECM).

5.1.2 Le OECM

Le OECM sono «aree geograficamente definite e diverse dalle Aree protette, che sono governate e gestite in modo da raggiungere obiettivi positivi e sostenibili a lungo termine per la conservazione della biodiversità *in situ*, con funzioni e servizi ecosistemici associati e, dove applicabili, valori culturali, spirituali, socio-economici, e altri localmente rilevanti» ([Convenzione sulla Biodiversità del 2018](#)).

La definizione delle OECM espressa dalla Convenzione determina tre importanti caratteristiche, che riassumono quali tipi di aree possono rientrare all'interno delle OECM: **conservazione accessoria**, ovvero aree in cui la tutela della biodiversità non è tra gli obiettivi (come, ad esempio, le zone militari); **conservazione secondaria**, ovvero aree in cui la tutela della biodiversità è un obiettivo secondario; **conservazione primaria**, ovvero aree che risponderebbero ai requisiti per essere aree protette, ma che le popolazioni che vi abitano non vogliono che vi diventino.

I criteri per l'individuazione di OECM – definiti *dall'International Union for the Conservation of Nature* (IUCN) – sono:

- criterio **A** "L'area non è attualmente riconosciuta come area protetta";
- criterio **B** "L'area è governata e gestita";
- criterio **C** "Fornisce un contributo duraturo ed efficace alla conservazione *in situ* della biodiversità";
- criterio **D** "Funzioni e servizi ecosistemici associati e valori culturali, spirituali, socio-economici e altri valori rilevanti a livello locale".

5.2 Obiettivi

Lo scopo principale della ricerca è stato quello di apportare un contributo all'individuazione di aree potenzialmente utili a raggiungere il 30% indicato dalla SEB, iniziando dalla categoria di aree tutelate secondo il [D. Lgs. 22.01.2004 n.42](#) tramite l'analisi dei Piani Paesaggistici regionali, allineandosi, quindi, con i due obiettivi indicati dalla [Strategia Nazionale per la Biodiversità](#):

1. costruire una rete coerente di Aree Protette terrestri e marine con il raggiungimento dei target del 30% di aree protette da istituire a terra e a mare, e del 10% di aree rigorosamente protette;
2. ripristinare gli ecosistemi terrestri e marini, con il raggiungimento del target del 30% di ripristino dello stato di conservazione di habitat e specie, in particolare

attraverso l'attività condotta a scala regionale inerenti gli obiettivi e le misure di conservazione dei siti della Rete Natura 2000.

Inoltre, grazie allo studio della pianificazione paesaggistica italiana, si è conseguentemente potuto avere un quadro riassuntivo dello stato d'avanzamento dei Piani Paesaggistici, comprendendone le criticità ed i possibili margini di implementazione rispetto alla tematica della tutela della biodiversità.

5.3 Attività svolta

La ricerca è stata svolta seguendo tre fasi principali:

- **Fase I:** analisi delle caratteristiche e dei **quattro** criteri valutativi per l'attribuzione alla categoria delle OECM ai sensi della documentazione internazionale di riferimento (EC, 2022; IUCN, 2019). Al fine di meglio dettagliare l'analisi e di renderla più attinente alle specificità e ai contenuti dei Piani italiani, i **4** criteri individuati nei documenti internazionali sono stati scorporati nei **6** criteri di seguito descritti che, riportati nelle tabelle per ogni Regione/Provincia autonoma, hanno rappresentato gli elementi di base dell'analisi. I 6 criteri utilizzati sono:

- criterio **A** "Conservazione a lungo termine della biodiversità dell'area garantita da accordi giuridici, amministrativi o contrattuali in vigore";
- criterio **B** "Obiettivi di conservazione biodiversità chiaramente identificabili";
- criterio **C** "Organismo di gestione chiaramente identificato";
- criterio **D** ed **E** "Gestione efficace ai fini della conservazione della biodiversità e monitoraggio adeguato per i valori naturali dell'area";
- criterio **F** "Valori naturali da proteggere chiaramente identificati".

- **Fase II:** ricerca ed analisi negli strumenti regionali di pianificazione paesaggistica delle aree vincolate paesaggisticamente ai sensi del D. Lgs. 42/2004 – art. 134 - Beni paesaggistici lett. a); b); c) e di altre aree tutelate dai Piani Paesaggistici Regionali; verifica della loro disponibilità cartografica e delle loro norme d'uso. I risultati di tale analisi sono stati riportati in apposite tabelle;

- **Fase III:** verifica della rispondenza delle informazioni raccolte per le singole aree vincolate con i sei criteri utili a comprendere se e quali aree vincolate potessero essere considerate OECM. Nella maggior parte dei casi non si fa riferimento esplicito alla tutela della biodiversità, fattore da tenere in considerazione quando si tratta di OECM, che al contrario delle aree protette, non pongono la protezione della biodiversità come obiettivo primario o esplicito. Tale informazione è stata riscontrata nella maggior parte dei casi, attraverso una lettura degli obiettivi generali relativi ai beni vincolati ai sensi del D. Lgs. 42/2004, in cui viene riconosciuta come una priorità dell'intero Piano. Per esempio, spesso si specifica come siano state delimitate le aree di interesse, ma non i valori per cui quella determinata area viene tutelata; in altri casi, invece, alcune delle voci che rientrano tra i beni vincolati non possiedono una descrizione che possa rispondere ai criteri di definizione di una OECM e l'analisi

necessiterebbe dunque di maggiori approfondimenti e confronti con gli enti responsabili.

5.4 Conclusioni

La situazione italiana in riferimento alla strumentazione di pianificazione paesaggistica si presenta abbastanza critica e diversificata: dall'analisi è, infatti, emerso che molti Piani non sono aggiornati rispetto alla normativa di riferimento (Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio), altri rimandano ai Piani Provinciali o Comunali con valori paesaggistici, altri ancora hanno un Piano Regionale con valenza paesaggistica in corso di co-pianificazione con il Ministero della Cultura. Nello specifico:

- **8** Regioni possiedono un Piano redatto ai sensi del D. Lgs. 42/2004, ovvero Piemonte, Lombardia, Friuli-Venezia Giulia, Toscana, Lazio, Puglia, Calabria, Sardegna. Si precisa che i Piani sono stati approvati, ma quello della Regione Lombardia e della Sardegna sono in corso di co-pianificazione col Ministero della Cultura e la Calabria ha un Quadro Territoriale Regionale con valenza paesaggistica utile alla redazione del Piano Paesaggistico;
- **7** Regioni non hanno adeguato il Piano redatto tra il 1980-1990 circa (seppur con una sensibilità particolare verso i temi paesaggistici, naturalistici e ambientali), al Codice Urbani del 2004, e sono: Valle D'Aosta, Emilia-Romagna, Marche, Abruzzo, Molise, Campania, Basilicata;
- **4** Regioni e **2** Province autonome non possiedono un piano regionale, ma rimandano ad una pianificazione provinciale o comunale, ovvero Trento, Bolzano, Sicilia, Liguria, Veneto, Umbria.

Anche in riferimento al reperimento dei dati funzionali alla consultazione dei Piani, è emersa una situazione molto diversificata: solo in alcuni casi è, infatti, stato possibile effettuare sia il *download* di *shp files*, *pdf* e *jpeg* che visualizzare le tavole attraverso lo strumento supplementare del *webgis*.

Altro elemento di disomogeneità è la diversità di analisi del territorio per ogni regione. Infatti, come precedentemente accennato, ogni Regione ha un suo metodo di creazione di norme tecniche e di tavole, di nomenclature e metodi rappresentativi, andando a creare confusione in fase di consultazione.

Si auspica che nell'immediato futuro si possa formare una pianificazione paesaggistica nazionale omogenea, che abbia alla base norme di redazione valide per tutte le Regioni (senza fare distinzioni tra Regioni e Province autonome), che consentano di creare un modello standardizzato di elaborati grafici e relative legende, e norme tecniche (per ogni categoria di beni tutelati all'interno dei Piani sarebbe opportuno categorizzarli, ed esplicitare in modo schematico, ma dettagliato, le caratteristiche e i valori che possiedono, e gli obiettivi che persegono), per facilitare

la consultazione di tali strumenti sia ai professionisti del settore, sia ai comuni cittadini. Inoltre, sarebbe particolarmente utile la predisposizione di un sito unico sulla pianificazione paesaggistica nazionale – composto anche di un *webgis* – in cui far confluire la documentazione di ogni Regione, liberamente fruibile, favorendo la digitalizzazione.

In riferimento alla possibile assunzione delle aree vincolate nei Piani Paesaggistici al ruolo di OECM, dall'analisi condotta risulta che i criteri che hanno trovato maggior riscontro sono il Criterio A – *Conservazione a lungo termine della biodiversità dell'area garantita da accordi giuridici, amministrativi o contrattuali in vigore* e il Criterio B – *Obiettivi di conservazione biodiversità chiaramente identificabili*. Ciò che, inoltre, emerge dalle tabelle è che il Criterio C – *Organismo di gestione chiaramente identificato* è quello che con più difficoltà viene riscontrato nella cognizione di aree nei Piani, soprattutto perché spesso non si tratta mai dell'organo di gestione in modo esplicito, ma il più delle volte è sottinteso o non specificato.

Dall'analisi dei Piani, in merito alle OECM emerge, dunque, che:

- nelle regioni del nord Italia appare una maggiore attenzione verso la tutela dei beni naturali del territorio. A titolo esemplificativo, in Valle D'Aosta si fa specifico riferimento al «[...] recupero ambientale, la rinaturalizzazione delle aree degradate [...]» e molte tipologie di aree trovano riscontro in tutti i criteri OECM, in particolare i "Siti di specifico interesse naturalistico" (art. 38 delle Norme Tecniche di Attuazione - NTA) e i "Parchi, riserve e aree di valorizzazione naturalistica" (art. 39 delle NTA), normati dalla Legge Galasso, gestiti perlopiù dai Comuni, opportunamente monitorati grazie a delle specifiche "Linee programmatiche" e con degli evidenti interessi naturalistici da preservare.

Anche il Piano della Provincia di Trento è molto attento alle tematiche di tutela, tanto da aver individuato ben 11 categorie di aree delle NTA che rispondono a quasi tutti i criteri OECM. Nella Regione Piemonte è possibile individuare aree di interesse, anche in relazione alla "Rete di connessione paesaggistica" (art. 42 delle NTA), dove si precisa che «la Rete ecologica è composta di aree che hanno lo scopo di salvaguardare e conservare zone naturali, habitat ed eco sistemi terrestri e acquatici (in particolare per "la conservazione attiva della biodiversità")». Tale concetto viene ripreso anche nel Piano della Regione Lombardia con la "Rete verde regionale" (art. 24 delle NTA), che comprende le aree protette e i siti della Rete Natura 2000 e recita al co.3 «[...] tutela degli ambienti naturali; salvaguardia della biodiversità regionale e della continuità della rete ecologica; salvaguardia e valorizzazione dell'idrografia naturale; tutela e valorizzazione del sistema idrografico artificiale; ricomposizione e salvaguardia dei paesaggi culturali rurali e dei boschi; contenimento dei processi conurbativi e di dispersione urbana; ricomposizione paesaggistica dei contesti periurbani; riqualificazione paesaggistica di ambiti compromessi e degradati [...]. In Emilia-Romagna si fa riferimento anche alla tutela volta «ad impedire forme di utilizzazione che possano alterare l'equilibrio delle specie autoctone esistenti»;

- al centro Italia, la Regione Lazio sembra essere l'unica ad avere un piano recente e disposto in modo tale da individuare alcune zone utili, nonostante esse non facciano trasparire in modo esplicito l'obiettivo di tutela della biodiversità;

- al sud Italia, la Regione Puglia si collega al concetto di rete ecologica all'interno della categoria "Struttura idro-geo-morfologica (capo II): territori costieri; territori contermini ai laghi; fiumi, torrenti e corsi d'acqua iscritti negli elenchi delle acque pubbliche" (art. 41 delle NTA), ritrovando tale passaggio: «[...] conservare e incrementare gli elementi di naturalità delle componenti idrogeologiche riducendo i processi di frammentazione degli habitat e degli ecosistemi costieri e fluviali, promuovendo l'inclusione degli stessi in un sistema di corridoi di connessione ecologica [...].» La Regione Sardegna, invece, introduce un interessante elemento all'interno delle aree che comprendono i territori costieri, così come per i parchi e le riserve, ovvero la tutela delle specie autoctone, riferendosi alla Direttiva 92/43/CEE "Habitat". In alcuni luoghi ("Campi dunari e compendi sabbiosi" (art. 28 delle NTA)) è vietato il turismo perché «luoghi di riproduzione della tartaruga *Caretta caretta*».

Le aree che ricadono nelle OECM potrebbero, perciò, svolgere un importante ruolo nella costituzione della rete ecologica a livello locale, ma anche a livello nazionale. Infatti, ciò che le contraddistingue è proprio l'obiettivo comune: la tutela e conservazione della biodiversità.

Il riconoscimento ufficiale di tali aree in un Piano Paesaggistico potrebbe contribuire ad un'ulteriore tutela anche da un punto di vista ambientale, aumentando così anche l'apporto dei servizi eco sistemici alla società.

Il fatto che in alcuni Piani già si riscontrino degli accenni alla rete ecologica per quanto riguarda le aree tutelate per legge ai sensi del D. Lgs. 42/2004 costituisce un grande progresso per la pianificazione a larga scala, intesa alla promozione della tutela della biodiversità animale e vegetale e soprattutto delle specie autoctone.

Si evidenzia, infine, come sia fondamentale lo sforzo da parte delle Regioni di rendere più chiari ed esplicativi alcuni passaggi dei Piani, che, ad oggi, necessitano di un'interlocuzione diretta con i responsabili degli enti pubblici per poter essere opportunamente esplicitati.

5.5 Bibliografia e Sitografia

Convention on Biological Diversity, 2018. [Protected areas and Other effective area-based conservation measures](#)

D.Lgs. 42/2004, [Codice dei beni culturali e del paesaggio](#)

European Commission, 2022. [Draft technical note on criteria and guidance for protected areas designations](#)

IUCN, 2019. [Recognising and reporting Other effective area-based conservation measures](#)

H. Jonas, K. MacKinnon, 2015. [Task Force on Other effective area-based conservation measures](#)

Ministero dei Beni Culturali, 2021. [Quadro sinottico della Pianificazione paesaggistica](#), (aggiornamento giugno 2021)

6. La lettura del territorio: le acque di superficie e l'antropizzazione del suburbio meridionale di Roma. Il caso del fiume Almone

A cura di Giordano **De Coste**, studente di Archeologia, Università degli Studi Roma Tre; Gennaro Maria **Monti**, tutor ISPRA, Servizio per la geologia applicata, la pianificazione di bacino e la gestione del rischio idrogeologico, l'idrogeologia e l'idrodinamica delle acque sotterranee - Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia

6.1 Introduzione

L'esperienza formativa si è inserita nell'ambito di un progetto di ricerca condotto dal Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia, volto allo studio del reticolo idrografico dell'Agro Romano nei settori meridionale e orientale.

L'indagine ha posto particolare attenzione alla drastica trasformazione del paesaggio d'acque, verificatasi nel corso del XX secolo, a causa dell'intenso e invasivo intervento umano nell'area.

6.2 Obiettivi

Il tirocinio ha avuto come obiettivo la mappatura integrale in ambiente GIS (*Geographic information System*) dei corsi d'acqua rilevabili da cartografia catastale storica, al fine di valutare l'ampiezza dei cambiamenti indotti dall'uomo nel paesaggio suburbano di Roma e, in particolare, nel reticolo idrografico costituito da torrenti e corsi d'acqua (localmente noti come *fossi* e *marane*) che punteggiavano e, in parte, tutt'ora punteggiano la periferia e la campagna di Roma.

Parallelamente, il percorso formativo ha consentito lo sviluppo di competenze tecnico-scientifiche relative alla raccolta, gestione e analisi di dati eterogenei attraverso l'impiego di *software GIS*.

6.3 Attività svolta

Come parte delle attività previste dal tirocinio, si è provveduto alla digitalizzazione dei corsi d'acqua rilevabili dalla cartografia detta del "Primo Impianto".

La procedura è stata condotta mediante l'uso del *software QGIS* (*Quantum GIS*), utilizzando un elemento vettoriale poligonale, in modo da poter tracciare accuratamente sia il corso che l'ampiezza dell'idrografia esaminata.

Sono stati ricalcati esclusivamente i corsi d'acqua affioranti in superficie e per ogni elemento digitalizzato è stato associato un numero identificativo univoco, il relativo toponimo (laddove menzionato) e il foglio cartografico di pertinenza all'interno della

tabella degli attributi, mentre un vettore lineare è stato associato alla geometria per indicare la direzione di flusso per ogni corso d'acqua.

Come risultato, si è ottenuta una mappatura totale di tutti i corsi d'acqua (compresi anche quelli di minore portata e canalizzazioni a scopi agricoli) inquadrati nel settore sud/est di Roma durante gli anni Trenta e Cinquanta del secolo scorso.

Si è voluto quindi confrontare la presenza dei percorsi d'acqua storici rilevabili in cartografia storica con quella desumibile dalla digitalizzazione dell'idrografia riscontrabile sulla carta tecnica regionale della Regione Lazio datata al 2014, al fine di visualizzare quanto delle antiche aste fluviali oggi si preserva e quanto è stato modificato.

Il tirocinio, inoltre, ha previsto attività formative complementari che hanno permesso di approfondire alcune tematiche di ricerca attraverso incontri con specialisti dell'Istituto, così da approfondire le conoscenze su:

- le principali cartografie geologiche, il loro impiego e interpretazione;
- gli strumenti forniti dai portali web dell'ISPRA e del Servizio Geologico d'Italia e l'uso dei dati per la tutela ambientale e la gestione del rischio idrogeologico;
- la geoarcheologia ed il ruolo che ha nello studio dei paesaggi archeologici, anche attraverso alcuni casi-studio come il Lago di Bolsena e l'antico porto di *Cumae*, che hanno mostrato come l'analisi geoarcheologica contribuisca a comprendere l'interazione tra uomo e ambiente.

Infine, la seconda parte del tirocinio è consistita nello sviluppo e applicazione delle nozioni e metodologie maturate durante il percorso formativo su un caso studio della Campagna Romana. L'attenzione è stata posta sull'area corrispondente al bacino idrografico del Fiume Almone al fine di analizzare e studiare i cambiamenti morfologici occorsi in questa zona d'indagine nel corso della metà del secolo scorso, utilizzando oltre alla sopracitata cartografia anche quella storica dell'Istituto Geografico Militare (I.G.M.) risalente al 1870, immediatamente dopo l'annessione di Roma al Regno d'Italia.

Questo studio preliminare verrà in seguito presentato come contributo per il volume *"Memorie descrittive del Servizio Geologico"*.

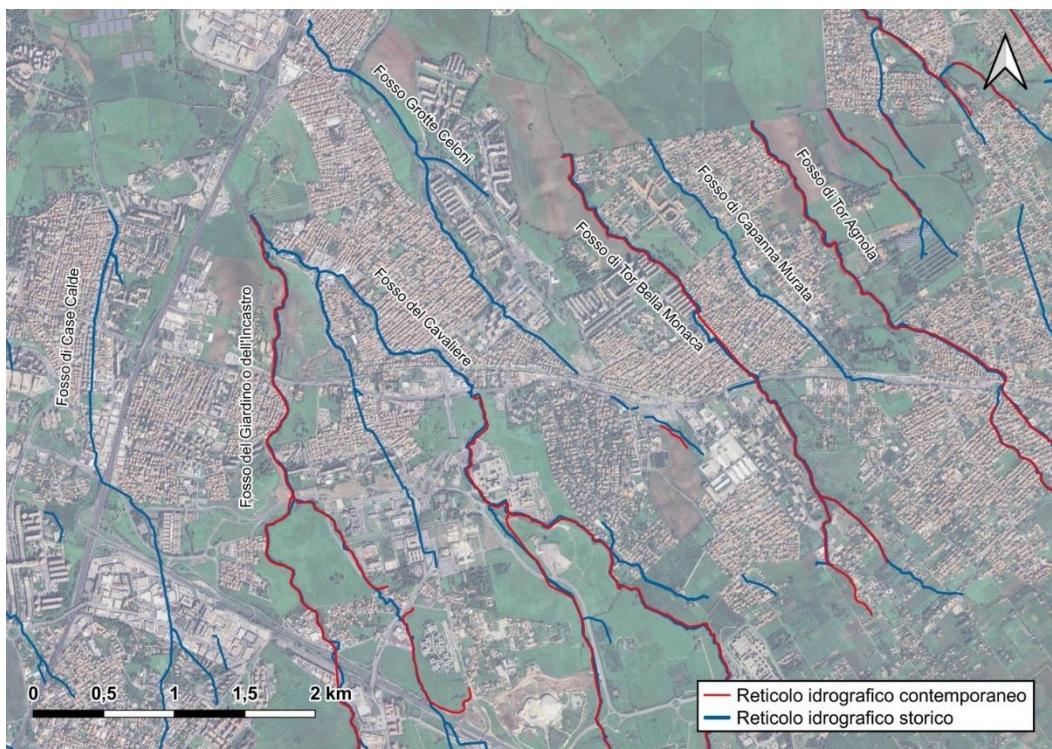
6.4 Conclusioni

Il tirocinio ha rappresentato un'esperienza formativa significativa per acquisire e consolidare competenze tecnico-scientifiche, spaziando dalla gestione di dati cartografici in ambiente GIS all'analisi critica delle trasformazioni del territorio causate dall'interazione tra uomo e risorse idriche.

Questa esperienza ha permesso, inoltre, l'acquisizione di conoscenze nell'analisi dei paesaggi contemporanei, nella fattispecie, l'Agro Romano e la sua mutevole fisionomia nella diacronia (Fig 6.1).

Infine, è stata altresì importante per comprendere meglio le dinamiche del mondo del lavoro, permettendo di osservare da vicino la gestione di progetti complessi, collaborando con tecnici di diverse competenze in un contesto organizzato.

Fig 6.1 - Ortofoto con rappresentazione comparativa del reticolo idrografico attuale e delle sue modificazioni storiche.



Fonte: Ortofoto Google con sovrapposizione comparativa del reticolo idrografico attuale, tratto dalla CTR Lazio (2014), e di quello storico, ricavato dalla cartografia catastale del 'Primo Impianto'

6.5 Bibliografia e Sitografia

Amanti M. Troccoli A., Vitale V. (2013) - *Pericolosità geomorfologica nel territorio di Roma Capitale. Analisi critica di due casi di studio: la Valle dell'Inferno e la Valle dell'Almone*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It. XCIII, pp 41-72, figg. 31, tabb. 3

A.P.A.T. (2008) – *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 – Foglio 374, Roma*. S.E.L.CA. srl, Firenze

A.P.A.T. (2008) – *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 – Foglio 374, Roma*. S.E.L.CA. srl, Firenze

Farinetti E. (2011) - *Boeotian landscapes. A GIS-based study for the reconstruction and interpretation of the archaeological datasets of ancient Boeotia*, Oxford

Peters M. J. & Stek T. D. (2022) - *Photogrammetry and GIS to investigate modern landscape change in an early Roman colonial territory in Molise (Italy)*, Acta IMEKO, 11(4), 1-7

Ventriglia U. (2002) - *Geologia del territorio del comune di Roma*, Roma

<https://www.romanoimpero.com/2017/12/monte-cavo-cabo-lazio.html>

https://www.parcoappiaantica.it/wpcontent/uploads/2016/05/Il_Fiume_Almone.pdf

7. Recruitment su manufatti in cemento con funzione antistrascico: analisi del sintaxon ad Anfipodi di fondi duri

A cura di **Michela De Simone**, studentessa di Biologia ed ecologia dell'ambiente marino, Università di Napoli Federico II; **Benedetta Trabucco**, tutor ISPRA, Area per il monitoraggio e la caratterizzazione dello stato della qualità dell'ecosistema e delle acque marine – Dipartimento per il monitoraggio e la tutela dell'ambiente e per la conservazione della biodiversità

7.1 Introduzione

L'ambiente marino è un ecosistema dinamico e complesso, fondamentale per l'equilibrio ecologico del nostro pianeta, ma continuamente minacciato da attività antropiche, come la pesca a strascico, che può danneggiare gli habitat bentonici e le specie che vi abitano. In questo contesto si inserisce lo studio, parte di un'iniziativa di monitoraggio ambientale condotta dall'Istituto per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) nell'ambito del Progetto SA.PE.I: "Nuova Connessione Sottomarina in Corrente Continua a 500 kV SA.PE.I" (Sardegna – Penisola Italiana), realizzato da Terna S.p.A. con l'installazione di due cavi sottomarini tra la costa laziale e la Sardegna.

Durante le ispezioni lungo i cavi, sono stati osservati danni attribuibili ad azioni antropiche, attività illegali di pesca a strascico. Per proteggere la connessione e gli ecosistemi marini esistenti, sono stati quindi introdotti dei tripodi artificiali, barriere anti-strascico sottomarine, che sono state analizzate stagionalmente per valutare eventuali cambiamenti nell'area marina dove sono stati installati. Lo studio è stato, appunto, incentrato sull'osservazione del reclutamento sulle barriere anti-strascico, per valutare la colonizzazione di substrati artificiali introdotti nell'ambiente marino, con particolare interesse all'identificazione delle specie di anfipodi presenti in campioni prelevati da otto stazioni selezionate. Questi organismi costituiscono uno dei gruppi di crostacei più diversificati e interessanti nelle acque marine e possono fungere da indicatore parziale della comunità, fornendo uno strumento per valutare lo stato attuale dell'ecosistema.

7.1.1 Storia del progetto

La linea di trasmissione SA.PE.I (acronimo di Sardegna-Penisola-Italiana), è costituita da un doppio cavo sottomarino in corrente continua a 500kV con una capacità totale di 1.000 MW, tra la Sardegna e il Lazio, realizzato da Terna S.p.A. tra il 2007 e il 2010. La connessione SA.PE.I. è composta da due cavi elettrici sottomarini di 420 km di lunghezza che attraversano il Mar Tirreno fino alla profondità massima di 1640 metri, accompagnati da due cavi elettrodici: l'anodo (Sardegna) e il catodo (Lazio).

Il piano ambientale ha previsto la posa dei tripodi *anti-trawl* nell'area di Fiume Santo nell'aprile 2017, e da giugno dello stesso anno sono stati analizzati diversi aspetti dell'area marina in cui sono stati installati, non solo per verificare l'integrità del sito (particolarmente importante per la presenza di Posidonia oceanica), ma anche per monitorare eventuali cambiamenti nella fauna e biodiversità algale dovuti all'introduzione di strutture artificiali. In entrambe le aree di approdo (Fiume Santo e Punta Tramontana) sono stati condotti diversi studi, tra cui l'analisi del recruitment per valutare la colonizzazione dei substrati artificiali introdotti nell'ambiente marino.

7.1.2 Colonizzazione di strutture artificiali

La colonizzazione delle pareti delle strutture artificiali recentemente installate da parte di macroalghe e organismi sessili è stata oggetto di numerosi studi in siti marini di tutto il mondo. Questi studi hanno mostrato che le specie pioniere iniziali vengono gradualmente sostituite da altre specie, portando alla formazione di comunità floristiche e faunistiche simili a quelle che si trovano su substrati naturali duri. Molte delle specie di pesci che mostrano "relazioni strette" con le strutture sommerse, in termini di presenza spaziale o continuità nel tempo, sono quelle che abitano tipicamente ambienti rocciosi naturali nella stessa area e alla stessa profondità. La colonizzazione iniziale dei nuovi scogli artificiali avviene, infatti, grazie agli individui provenienti dalle popolazioni ittiche dei siti rocciosi circostanti. Pertanto, la distanza e la posizione di questi AR rispetto alle correnti prevalenti influenzano la velocità del processo e il successivo scambio di individui tra diverse popolazioni ittiche. Le strutture artificiali sottomarine, come i reef artificiali (AR), forniscono habitat per una varietà di specie marine, sia stazionarie che mobili. Dopo la loro installazione i tripodi sono stati analizzati periodicamente per esaminare i cambiamenti nella biodiversità faunistica e algale.

7.2 Obiettivi

Lo studio si è focalizzato sulla colonizzazione di questi substrati artificiali e, in particolare sull'identificazione di un gruppo di crostacei, gli anfipodi, per descrivere parzialmente la comunità presente e valutare lo stato dell'ecosistema. L'analisi delle comunità bentoniche è cruciale poiché queste popolazioni mostrano dinamiche che permettono di studiare i cambiamenti spaziali e temporali dell'ambiente fisico, fungendo da "registro biologico" dell'ecosistema. Questo aspetto biologico è fondamentale per comprendere il comportamento attuale dell'ecosistema e fare previsioni future.

7.3 Attività svolta

Seguendo le linee guida per il monitoraggio di barriere artificiali nel Mediterraneo, sono stati adottati due metodi di analisi: **diretto e indiretto**.

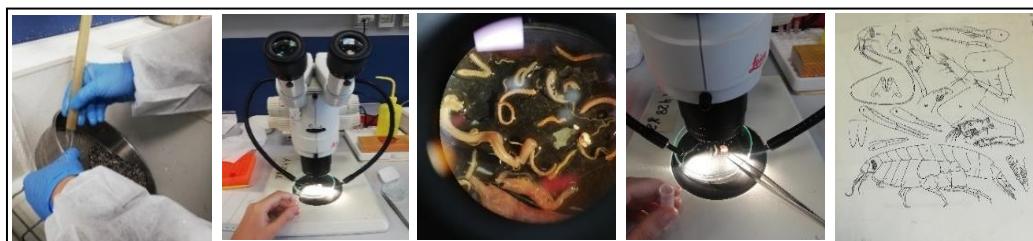
Metodo indiretto: consiste nell'analisi delle immagini di specifiche aree di superficie dei substrati, scattate a intervalli di tempo regolari. Queste immagini permettono di valutare qualitativamente e quantitativamente la copertura di organismi vegetali e animali, sia incrostanti che eretti.

Metodo diretto: prevede la raccolta diretta di campioni macrozoobentonici dai substrati artificiali, identificati poi presso il Laboratorio di Ecologia del Benthos, ISPRA, presso la ex sede di Castelromano (Roma).

Per quanto concerne il metodo diretto, le attività subacquee sono state svolte da un ricercatore *Operatore Tecnico Subacqueo (OTS)* di ISPRA, con il supporto di un subacqueo della compagnia *Oceansub* appositamente incaricata. In ogni stazione, il ricercatore ISPRA ha raccolto campioni biologici raschiando manualmente il materiale presente sulla superficie della barriera, raccolto poi tramite l'utilizzo della sorbona. Una volta in laboratorio, il campione è stato risciacquato con acqua dolce su un setaccio certificato, per eliminare formalina e residui inorganici, operando sotto cappa e con protezioni per evitare inalazioni tossiche. Successivamente, il materiale è stato esaminato allo stereomicroscopio. Tramite l'impiego di pinzette da orologiao, ogni organismo o frammento è stato estratto con cura e separato nei rispettivi contenitori (Fig 7.1). Gli organismi sono stati suddivisi per gruppi tassonomici prioritari (Policheti, Molluschi, Crostacei, Echinodermi) e identificati fino al livello di specie, quando possibile. L'identificazione è avvenuta mediante l'utilizzo di chiavi dicotomiche, che guidano il riconoscimento allo stereomicroscopio, con domande progressive e illustrazioni dettagliate, per determinare la specie.

Fig 7.1 - Processamento del campione: sorting e identificazione delle specie individuate.

Foto M. De Simone



Una volta effettuata l'identificazione, la struttura della comunità bentonica è stata studiata analizzando tutti gli individui raccolti, cercando di arrivare all'identificazione della specie, per comprendere le caratteristiche biocenotiche dell'area di studio. Sono stati applicati vari indici ecologici, tra cui la dominanza, l'abbondanza totale, la ricchezza in specie e gli indici di diversità (*Shannon-Wiener*, *Pielou* e *Simpson*). I dati

sono stati poi sottoposti ad analisi statistiche avanzate, come il *Multidimensional Scaling* (nMDS) e l'analisi Cluster, per valutare le somiglianze tra le stazioni e rilevare variazioni spaziali e temporali.

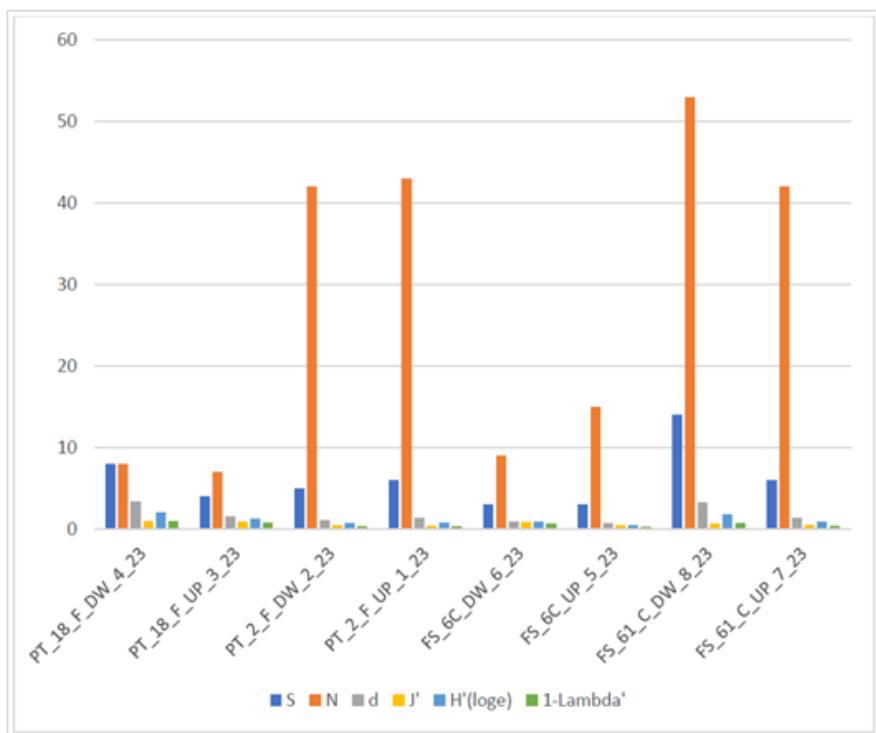
7.3.1 Risultati

Lo studio diretto sulla colonizzazione di anfipodi bentonici nelle barriere artificiali delle otto stazioni nell'area di Punta Tramontana e Fiume Santo indagate ha mostrato una variazione nella composizione e abbondanza delle specie di anfipodi identificate.

7.3.2 Analisi qualitativa e quantitativa

Dall'analisi della composizione delle otto stazioni, emerge una similarità nel numero di specie tra le stazioni di Punta Tramontana e Fiume Santo, con picchi di specie nella stazione 61C_DW, seguita da 18F_DW, mentre valori minori sono stati osservati nelle stazioni 6C. L'abbondanza varia notevolmente, con il massimo valore osservato in 61C_DW e il minimo in 18F_UP. Gli indici di biodiversità *Margalef* e *Shannon-Wiener* evidenziano una maggiore ricchezza di specie e diversità a 18F_DW e 61C_DW rispettivamente, mentre l'indice di uniformità (*evenness*) risulta simile tra le stazioni (Fig 7.2).

Fig 7.2 - Confronto tra gli indici strutturali delle stazioni oggetto dello studio



L'analisi SIMPER ha evidenziato come *Argissa stebbingi*, *Phtisica marina*, e *Leucothoe venetiarum* siano specie dominanti nelle stazioni fotofile (DW), mentre *Atylus massiliensis* e *Microdeutopus armatus* prevalgono in quelle sciafile (UP). Una significativa dissimilarità è stata osservata tra le stazioni UP e DW, dovuta alla distribuzione variabile di specie come *Microdeutopus armatus* e *Argissa stebbingi*.

Dominanza delle specie

Nella stazione 2F_UP di Punta Tramontana è stata riscontrata una popolazione bentonica meno sviluppata, dominata da *Microdeutopus obtusatus*, mentre in 2F_DW dominava *Argissa stebbingi*. Nella stazione 18F, particolarmente in quella sciafila, è stata rilevata una maggiore diversità di specie. A Fiume Santo, le stazioni 61C presentano una maggiore ricchezza di specie, con una predominanza di *Microdeutopus armatus* e *Argissa stebbingi*, specie importanti per il loro ruolo ecologico negli ecosistemi costieri come detritivori e riciclatori di nutrienti. Gli anfipodi rivestono un ruolo cruciale come bioindicatori nelle comunità bentoniche marine costiere. Sono infatti tra i crostacei più rappresentativi dei fondali mobili e rocciosi, grazie alla loro sensibilità ai fattori biotici e abiotici. Le loro caratteristiche, come l'esoscheletro delicato e la mobilità limitata, li rendono particolarmente suscettibili agli stress ambientali, motivo per cui sono eccellenti indicatori delle condizioni di qualità ambientale. Rispondono, infatti, in modo evidente a variazioni di idrodinamica, granulometria dei sedimenti, concentrazione di materia organica, presenza di inquinanti e interazioni con altre specie.

7.4 Conclusioni

Nel corso di questo studio, sviluppato nell'ambito del progetto SA.PE.I, sono stati esaminati campioni prelevati nelle quattro stazioni di Fiume Santo (6CUP, 6CDW, 61CUP e 61CUP) e nelle quattro di Punta Tramontana (2FUP, 2FDW, 18FUP, 18FDW), identificando le specie di anfipodi presenti. I dati ottenuti mostrano uno stato di colonizzazione ormai stabilizzato delle barriere anti-strascico. Le stazioni sciafile evidenziano segni chiari di successione ecologica avanzata, avvicinandosi a uno stadio di climax, la fauna vagile è composta prevalentemente da organismi di piccole dimensioni che popolano le alghe incrostanti.

Rispetto ai dati dell'ISPRA del 2021, non sono state riscontrate variazioni significative nella ricchezza delle specie di anfipodi, anche se vi sono differenze nella composizione, soprattutto tra le specie dominanti (Spagnolo, 2014). Mentre nel 2021 prevalevano *Microdeutopus stationis* e *Stenothoe sp.*, nei campioni del 2022 le specie più rappresentative sono risultate *Argissa stebbingi*, *Microdeutopus obtusatus* e *Microdeutopus armatus*.

Le variazioni nel tempo nell'abbondanza e composizione delle specie di anfipodi sulle barriere artificiali offrono informazioni preziose per comprendere l'ecologia di queste

specie e le loro relazioni intra e interspecifiche. Inoltre, il lavoro ha confermato il ruolo delle barriere anti-strascico come habitat artificiale. Questi tripodi, introdotti per prevenire il passaggio delle attrezature da pesca a strascico sul fondo, oltre a proteggere l'habitat e le specie lì presenti, svolgono un ruolo attrattivo per numerose specie marine, fornendo superfici dure per la colonizzazione, in un contesto ambientale caratterizzato principalmente da fondale mobile.

Questi substrati artificiali, attirando una vasta gamma di organismi, dai piccoli invertebrati ai pesci, hanno un impatto positivo sulla biodiversità e sul ripopolamento ittico, offrendo zone di rifugio e alimentazione per pesci e altri animali e promuovendo interazioni ecologiche tra le specie. Infine, rappresentano una piattaforma ideale per studi ecologici a lungo termine grazie alle condizioni ambientali ben definite e alla facilità di accesso per i ricercatori. Il monitoraggio delle popolazioni colonizzanti è fondamentale per studiare ed analizzare la loro evoluzione nel tempo.

7.5 Bibliografia

- Chang, K.-H. (1985). *Review of Artificial Reefs in Taiwan: Emphasizing Site Selection and Effectiveness*. Bulletin of Marine Science
- D. Carreira-Flores, R. N. (2023). *Colonization in Artificial Seaweed Substrates: Two Locations, One Year*. Diversity
- S. Marzialetti, L. N. (2009). *The polychaete community of the Fregene artificial reef (Tyrrhenian Sea, Italy): a 20-year study (1981–2001)*. Zoosymposia
- Spagnolo, A. (2014). *Patterns of colonization and succession of benthic assemblages in two artificial substrates*. Journal of Sea Research
- Tiziano Bacci e Sante Francesco Rende, M. P. (2013). *A methodological approach to understand functional relationships between ecological indices and human-induced pressures: The case of the Posidonia oceanica meadows*. Elsevier
- Walker, S. J. (2007). *Spatial heterogeneity of epibenthos on artificial reefs: fouling communities in the early stages of colonization on an East Australian*. Marine Ecology

8. Mercurio e metilmercurio, dal sedimento al biota

*A cura di Giuditta **Galardi**, studentessa di Chimica analitica, Sapienza Università di Roma; Chiara **Maggi**, tutor ISPRA, Centro nazionale per la rete nazionale dei laboratori*

8.1 Introduzione

Il lavoro di tesi svolto presso i laboratori dell'Area Chimica del Centro ha riguardato la comprensione dei meccanismi che regolano l'accumulo di mercurio, uno tra i contaminanti chimici più dannosi per l'uomo e per l'ambiente, nella rete trofica marina.

Questa tematica negli ultimi anni è diventata una delle sfide più urgenti nel campo della tossico-cinetica dei metalli pesanti, in quanto, una volta bioaccumulato, il mercurio viene trasferito lungo la catena alimentare marina, secondo quel fenomeno che prende il nome di "biomagnificazione". Questo processo parte da batteri, plankton, macroinvertebrati, pesci erbivori, pesci carnivori fino ad arrivare all'uomo, amplificando il rischio di esposizione e i conseguenti effetti tossici.

Diventa quindi importante studiare la presenza di mercurio nel sedimento e negli organismi a differenti livelli trofici, per comprendere il trasferimento di questo metallo lungo la rete trofica.

Nonostante la ricerca scientifica abbia ampiamente dimostrato che la tossicità del mercurio è principalmente riconducibile alla forma organicata (ossia il metilmercurio, MeHg) piuttosto che alla sua quantità totale, la normativa ambientale e sanitaria sono ad oggi ancora incentrate sulla valutazione del contenuto del solo mercurio totale.

Questo non permette di comprendere la biodisponibilità del metallo, la sua capacità di bioaccumulo e quindi la sua pericolosità ad entrare nella rete trofica fino all'uomo. Pertanto, in linea con gli avanzamenti scientifici, sono stati ottimizzati metodi e procedure analitiche in grado di determinare le diverse forme chimiche del mercurio, al fine di comprendere i fattori che determinano l'accumulo di questo contaminante in diversi comparti ambientali.

8.2 Obiettivi

Lo scopo di questo lavoro è stato quello di valutare non solo il contributo del mercurio totale, ma soprattutto la specifica forma chimica del metilmercurio, in diversi campioni di sedimento e organismi marini a differenti livelli trofici. I campioni in esame sono stati prelevati in due zone di interesse del Mar Mediterraneo: Fiumicino e Procida. Entrambe le aree si trovano lungo il litorale tirreno e presentano differenti caratteristiche chimico-fisiche e di contaminazione antropica.

In ogni area, le specie campionate sono state il polpo (*Polpo vulgaris*) e la seppia (*Sepia officinalis*) per l'ambiente bento-nectonico, mentre per l'ambiente pelagico è stato campionato il calamari (*Loligo vulgaris*).

In Fig 8.1 è riportata la mappa relativa alle stazioni di campionamento del sedimento: le stazioni relative all'area di Fiumicino/Castelporziano sono codificate con la sigla S01, S02 mentre quelle relative alla zona dell'area di Procida sono riportate con il codice S03, S04. In Fig 8.2 sono mostrate le stazioni di campionamento per il biota. In questo caso la sigla utilizzata per la l'area di Fiumicino è B01, B02 mentre quelle relative alla zona dell'area di Procida B03, B04. I campioni dei diversi organismi marini sono codificati con l'iniziale dell'esemplare di interesse (C=Calamaro, S=Seppia, P=Polpo).

Fig 8.1 - Stazioni di monitoraggio dei campioni di sedimento.



Elaborazione: a cura degli Autori

Fig 8.2 – Stazioni di monitoraggio dei campioni di biota



Elaborazione: a cura degli Autori

Le rispettive concentrazioni di mercurio totale (THg) e metilmercurio (MeHg) nel sedimento e nel biota sono state correlate anche attraverso l'impiego di indici, al fine di valutare come il mercurio si trasferisca dal comparto abiotico a quello biotico. Nello specifico è stato utilizzato il fattore di bioaccumulo sedimento-biota a partire dal sedimento (BSAF), con lo scopo di valutare quanto gli organismi analizzati abbiano la tendenza a bioaccumulare ed è stato stimato anche il rischio ecologico, attraverso la valutazione del fattore di contaminazione (CF) e dell'indice di rischio ecologico (Er).

8.3 Attività svolta

Sia nei campioni di sedimento che nei campioni di biota è stata quantificata la concentrazione di mercurio totale e di metilmercurio, utilizzando l'Analizzatore Diretto di Mercurio (DMA-80).

Per la determinazione del Mercurio totale si è adoperata la metodica EPA 7473, mentre per la determinazione del Metilmercurio è stata ottimizzata una metodica già usata nei laboratori ISPRA per l'estrazione del mercurio organico. Quest'ultima procedura prevede il prelievo di un'aliquota di campione (biota o sedimento), precedentemente omogeneizzata, e l'idrolisi mediante HCl o HBr. Viene quindi effettuata una doppia estrazione con toluene, al fine di separare la fase organica. A quest'ultima viene addizionata una soluzione di L-cisteina, che forma un complesso molto stabile con il MeHg, che viene estratto quantitativamente e determinato al DMA-80. La metodica impiegata presenta molti vantaggi, quali la relativa semplicità, l'utilizzo di reagenti facilmente reperibili, i bassi costi e tempi di analisi brevi.

8.4 Conclusioni

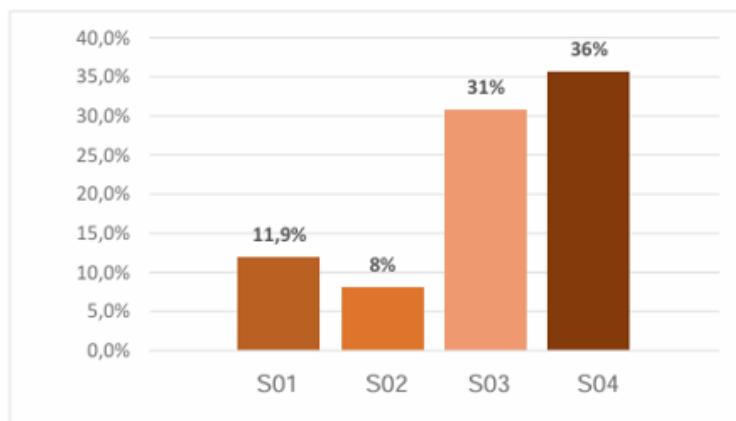
Dal confronto dei risultati ottenuti nelle matrici ambientali investigate delle due aree di indagine, è stato possibile identificare l'area di Fiumicino come più esposta a contaminazione.

I valori di mercurio totale di Fiumicino sono risultati, infatti, maggiori di un ordine di grandezza rispetto a quelli dell'area di Procida, identificata come area priva di contaminazione. D'altra parte, la posizione dell'area di Fiumicino, limitrofa alla metropoli di Roma, certamente determina l'influenza di apporti antropici conseguenti.

Il contributo del MeHg rispetto al contenuto totale di Hg nei sedimenti è generalmente basso in entrambe le aree.

In letteratura scientifica è riportato che questo rapporto è maggiore nei sedimenti non contaminati. In effetti, nell'area di Procida si riscontra fino al 30% di metilazione, mentre nell'area di Fiumicino le percentuali sono intorno al 10% (Fig 8.3).

Fig 8.3 - % MeHg rispetto a THg nel sedimento



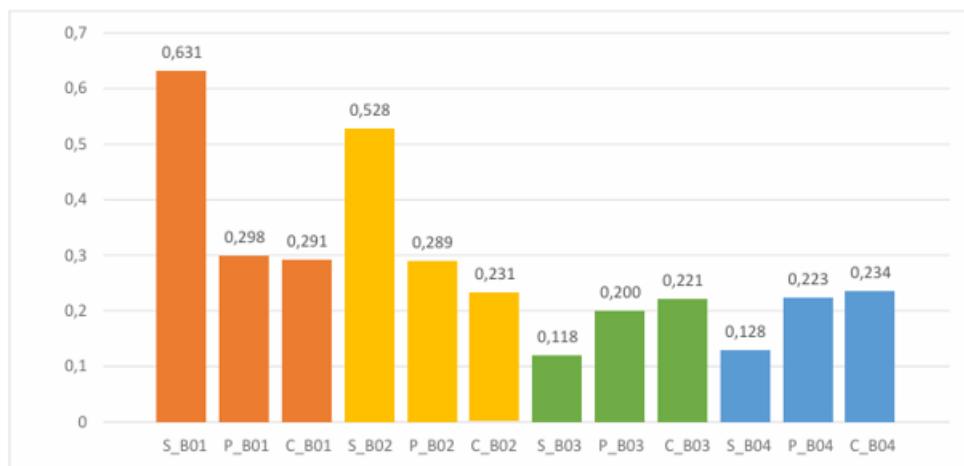
Fonte: G. Galardi

Dai risultati delle analisi eseguite sugli organismi, è stato osservato che il bioaccumulo dipende da diversi fattori, quali il livello trofico della specie, la concentrazione del mercurio nel sedimento, la granulometria del sedimento, il pH, ecc.

A Fiumicino il fattore determinante per il bioaccumulo del mercurio negli organismi è risultato essere il contenuto di mercurio nel sedimento, mentre a Procida il fattore prevalente è risultato essere il livello trofico degli organismi.

Infatti, l'organismo che presenta la concentrazione di mercurio più elevata a Fiumicino è la seppia, ovvero la specie che vive più a stretto contatto col sedimento e che ha un livello trofico inferiore agli altri organismi studiati, mentre a Procida la specie con maggiore concentrazione di mercurio è il calamari, ovvero l'organismo che si trova più in alto nella rete trofica (Fig 8.4).

Fig 8.4 - THg negli organismi in ordine crescente di livello trofico



Fonte: G. Galardi

I valori di metilmercurio riscontrati negli organismi seguono lo stesso andamento del mercurio totale e il rapporto percentuale risulta sempre molto alto in tutte le specie e le stazioni.

I risultati confermano quindi quanto sostenuto dalla comunità scientifica, ossia che nella stragrande maggioranza degli organismi marini la concentrazione della forma metilata presente nel tessuto muscolare è predominante, se non coincidente, con la quantità di mercurio totale.

Anche il fattore di bioaccumulo sedimento-biota (BSAF) e l'indice rischio ecologico (Er), calcolato a partire dalla valutazione del fattore di contaminazione (CF), confermano i risultati di cui sopra. Il BSAF, che per definizione tiene conto del bioaccumulo a partire dal sedimento, conferma che nell'area di Fiumicino la seppia è la specie bioaccumulatrice migliore.

Nell'area di Procida, invece, dove le concentrazioni di Hg nel sedimento sono molto basse e il bioaccumulo dettato dal livello trofico, l'indice restituisce risultati non realistici. L'Er ha portato a classificare l'area di Procida come a "basso rischio di contaminazione", mentre l'area di Fiumicino a "rischio moderato".

In conclusione, lo studio condotto ha permesso di riconoscere che la concentrazione di mercurio nel sedimento non è l'unico fattore a condizionare il bioaccumulo negli organismi marini. Il livello trofico risulta determinante in presenza di sedimenti a basse concentrazioni di mercurio. Indipendentemente dal tenore di mercurio nei sedimenti, la frazione di metilmercurio negli organismi risulta quasi coincidente con il contenuto di mercurio totale. Diventa, quindi, necessario e urgente inserire nelle normative ambientali e sanitarie la valutazione del tenore di metilmercurio.

8.5 Bibliografia

M. C. R. Sola, R. M. de Jesus, M. M. Nascimento, G. O. da Rocha, and J. B. de Andrade, *Occurrence of mercury in polychaete species (Annelida) and their associated sediments from an important Southern Atlantic Ocean Bay*, Science of the Total Environment, vol. 851, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.157965

A. Ruus, M. Schaanning, S. Øxnevad, and K. Hylland, *Experimental results on bioaccumulation of metals and organic contaminants from marine sediments*, Aquatic Toxicology, vol. 72, no. 3, pp. 273–292, Apr. 2005, doi: 10.1016/j.aquatox.2005.01.004

N. V. C. Ralston and L. J. Raymond, *Mercury's neurotoxicity is characterized by its disruption of selenium biochemistry*, Nov. 01, 2018, Elsevier B.V. doi: 10.1016/j.bbagen.2018.05.009

M. A. Bradford, M. L. Mallory, and N. J. O'Driscoll, *Mercury bioaccumulation and speciation in coastal invertebrates: Implications for trophic magnification in a marine food web*, Mar Pollut Bull, vol. 188, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.marpolbul.2023.114647

G. Denaro, L. Curcio, A. Borri, L. D'Orsi, and A. De Gaetano, *A dynamic integrated model for mercury bioaccumulation in marine organisms*, Ecol Inform, vol. 75, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.ecoinf.2023.102056

A. Minet *et al.*, *Mercury in the tissues of five cephalopods species: First data on the nervous system*, Science of The Total Environment, vol. 759, p. 143907, Mar. 2021, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2020.143907

L. Hakanson, *An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach*, Water Res, vol. 14, no. 8, pp. 975–1001, 1980

M. Arienzo, L. Ferrara, M. Toscanesi, A. Giarra, C. Donadio, and M. Trifuggi, *Sediment contamination by heavy metals and ecological risk assessment: The case of Gulf of Pozzuoli, Naples, Italy*," Mar Pollut Bull, vol. 155, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111149

US EPA Method 7473: Mercury in solids and solutions by thermal decomposition, amalgamation, and atomic absorption spectrophotometry – January 1998 Epa 7443.”

C. Maggi, M. T. Berducci, J. Bianchi, M. Giani, and L. Campanella, *Methylmercury determination in marine sediment and organisms by Direct Mercury Analyser*, Anal Chim Acta, vol. 641, no. 1–2, pp. 32–36, May 2009, doi: 10.1016/j.aca.2009.03.033

9. Distretti biologici e sviluppo locale

*A cura di Francesco **Lorenzini**, studente di Scienze geografiche per l'ambiente e la salute, Sapienza Università di Roma; Roberto **Sannino**, tutor ISPRA, Area per la conservazione e la gestione della flora, della vegetazione e delle foreste, degli habitat e degli ecosistemi dei suoli e per l'uso sostenibile delle risorse agroforestali – Dipartimento per il monitoraggio e la tutela dell'ambiente e per la conservazione della biodiversità*

9.1 Introduzione

La diffusione della produzione biologica, quale contributo alla tutela dell'ambiente e per rispondere a una domanda in continua crescita di alimenti sicuri, è un processo che da anni caratterizza l'agricoltura nel nostro Paese. Il percorso si è accompagnato al fenomeno nazionale dei territori rurali spontaneamente organizzati in distretto biologico.

Nell'ambito del tirocinio lo sviluppo territoriale dei distretti biologici è stato analizzato in rapporto al sistema delle aree naturali, cioè i territori di rilevante valore naturalistico e ambientale, sottoposti a un regime di tutela e di gestione ambientale e costituiti dalla integrazione e sovrapposizione delle aree protette nazionali e regionali e della Rete Natura 2000.

Le argomentazioni elaborate fanno riferimento al recente contesto normativo dei distretti biologici, definito dal legislatore nazionale nella nuova legge sulla produzione biologica (Legge 9 marzo 2022, n. 23).

Parole chiave: agricoltura biologica, sviluppo rurale, sviluppo sostenibile, aree naturali protette, pianificazione territoriale.

9.2 Obiettivi

Con l'intento di fornire al tirocinante una conoscenza di base, teorica e di pratica professionale, sono stati individuati tre obiettivi principali.

Il primo è l'apprendimento di nozioni tecniche sull'adattamento dell'agricoltura agli obiettivi dello sviluppo sostenibile delle aree rurali, nel contesto della transizione ecologica e della pianificazione territoriale.

Il secondo è l'acquisizione di competenze tecnico - scientifiche nell'analisi GIS (*Geographic information system*) di cartografia settoriale e nella elaborazione di dati statistici qualitativi.

Il terzo è la conoscenza di metodi professionali per la lettura critica e l'analisi della documentazione tecnico scientifica di riferimento e per la redazione di documenti e testi a carattere tecnico-scientifico.

9.3 Attività svolta

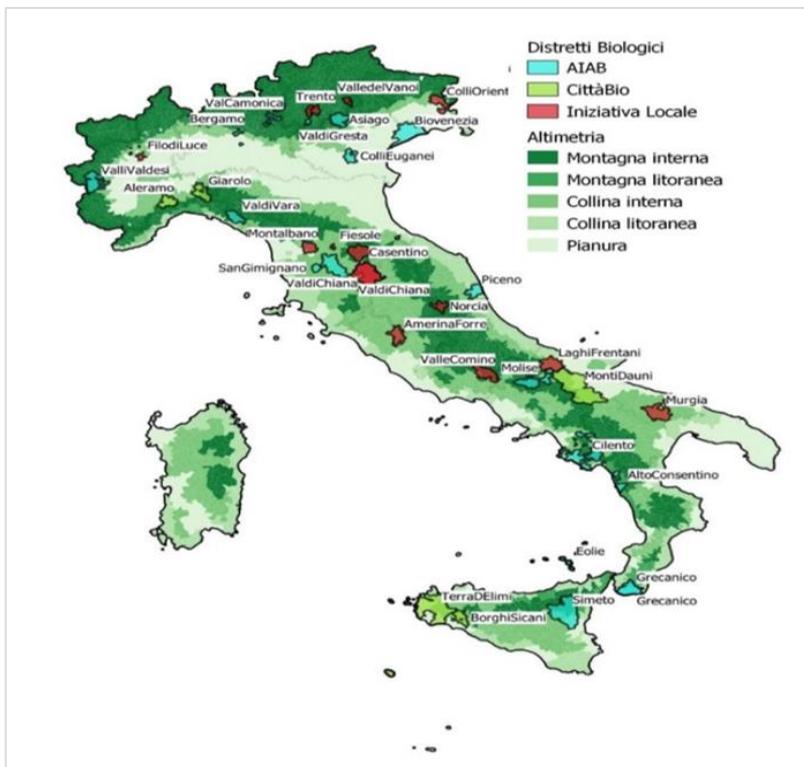
L'attività di tirocinio può essere suddivisa in quattro fasi principali. Di seguito la descrizione sintetica.

9.3.1 Fase preliminare di acquisizione delle conoscenze

Al fine di delimitare il contesto operativo di riferimento e individuare la metodologia di lavoro, le attività preliminari sono state indirizzate su tre aspetti prioritari, quali:

- l'apprendimento delle informazioni tecniche sull'utilizzo operativo dell'applicazione *desktop GIS open source* (QGIS);
- l'analisi degli elementi strutturali principali del fenomeno dei distretti biologici. La documentazione è stata fornita dal Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria (CREA) (Fig 9.1);
- lo studio degli aspetti essenziali del sistema delle aree naturali protette: documentazione messa a disposizione da ISPRA.

Fig 9.1 - Distribuzione dei distretti biologici sul territorio nazionale.



Fonte Rete internazionale dei bio-distretti (IN.N.E.R.)

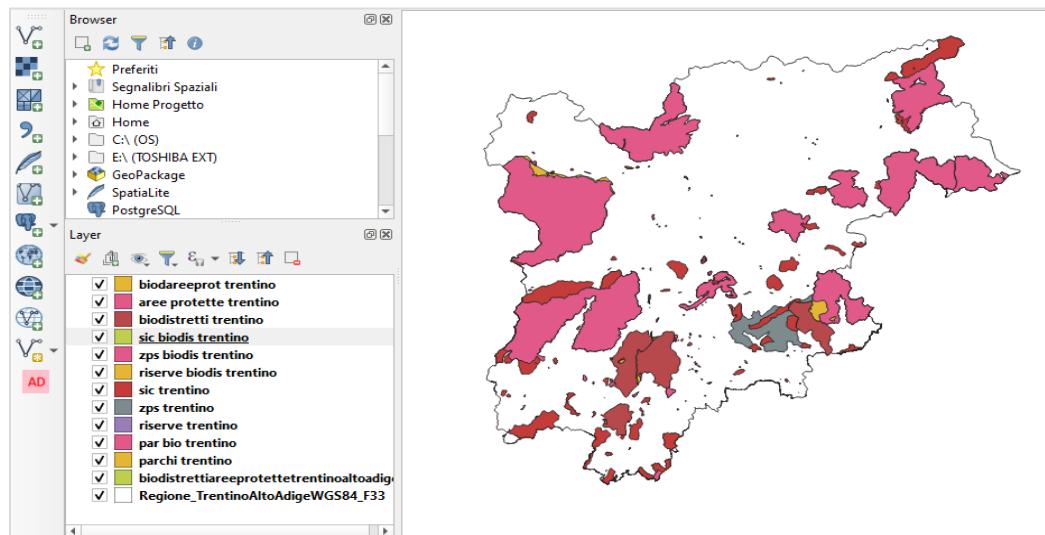
9.3.2 Fase di sviluppo delle conoscenze

L'attività si è concentrata sull'analisi preliminare delle cartografie di settore e nell'acquisizione di informazioni tecniche per l'elaborazione di dati statistici nel contesto del programma excel (Fig 9.2).

Gli elementi territoriali sviluppati hanno riguardato:

- la cartografia sui distretti biologici, messa a disposizione dal CREA;
- la cartografia ambientale relativa al sistema delle aree protette, fornita da ISPRA.

Fig 9.2 - Esempio di lavoro cartografico su QGIS – regione Trentino-Alto Adige.



Fonte: elaborazione F. Lorenzini; Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE)

9.3.3 Fase di acquisizione di competenze

Le attività hanno riguardato tre ambiti lavorativi.

Il primo è da identificare nella selezione delle tipologie di distretti di sviluppo locale di riferimento, tramite una metodologia di analisi individuata dal tirocinante insieme a ISPRA.

Il secondo ha riguardato lo sviluppo del lavoro cartografico, orientato principalmente alla definizione della intersezione dei dati spaziali con le aree territoriali. Le attività di visualizzazione e organizzazione dei dati sono state svolte tramite lo strumento QGIS.

Il terzo consiste nell'elaborazione dei dati statistici in ambiente excel (Tab 9.1). Questa attività ha riguardato la estrapolazione dei dati informativi su scala regionale, la suddivisione dei dati generali sui distretti biologici per le categorie individuate, la ripartizione delle aree protette per i livelli di protezione nazionale esistenti, l'analisi statistica delle cartografie derivate e l'elaborazione dei dati in forma tabellare.

Tab 9.1 - Estensione delle aree protette (parchi nazionali, Rete Natura 2000 e altre aree protette) incluse nei biodistretti. Dati 2022, su scala regionale. Superficie in km². e dato percentuale

Regione	Superficie regionale	Estensione aree protette	Estensione aree protette nei biodistretti (km ²)	Estensione aree protette nei biodistretti (%)
Abruzzo	10797,3	3188,6	0,4	0,0
Basilicata	9992,0	1974,2	0,0	0,0
Calabria	15082,8	2701,7	978,8	36,2
Campania	13599,5	3522,2	806,1	22,9
Emilia Romagna	22124,9	929,5	116,8	12,6
Friuli	7849,3	530,6	0,0	0,0
Lazio	17203,9	2199,8	255,5	11,6
Liguria	5418,9	293,7	93,4	31,8
Lombardia	23878,8	1377,4	71,1	5,2
Marche	9711,1	891,4	22,9	2,6
Molise	4440,3	65,7	12,9	19,6
Piemonte	25401,3	1766,2	42,9	2,4
Puglia	19354,8	2711,5	434,1	16,0
Sardegna	24118,3	945,7	95,6	10,1
Sicilia	25718,3	2755,8	1478,3	53,6
Toscana	22986,3	1460,8	161,0	11,0
Trentino Alto Adige	13604,9	2687,1	32,9	1,2
Umbria	8454,0	629,0	155,8	24,8
Valle D'Aosta	3262,2	433,3	0,0	0,0
Veneto	18398,7	1026,4	254,1	24,8
Italia	301397,7	32090,6	5012,6	15,6

9.3.4 Fase finale delle attività formative

L'ultimo periodo temporale ha coinciso con la revisione finale del lavoro cartografico e della documentazione di elaborazione statistica realizzati nelle fasi precedenti, con la prospettiva della successiva stesura di un articolo tecnico scientifico sul tema della valorizzazione della tracciabilità ambientale delle produzioni biologiche.

9.4 Conclusioni

Il positivo coinvolgimento e l'impegno dedicato allo studio della documentazione tecnica di riferimento hanno consentito al tirocinante di sviluppare un'attività formativa di discreto valore scientifico, anche in virtù della originalità dei dati statistici elaborati.

Diverse sono le conoscenze, competenze e abilità scientifiche acquisite.

In primo luogo, le conoscenze professionali sviluppate sugli argomenti di lavoro trattati e una visione più ampia sulle questioni ambientali e rispetto alla sostenibilità delle risorse naturali.

In secondo luogo, le conoscenze e abilità informatiche avanzate nei programmi *word* ed *excel* nonché le competenze tecnico professionali nell'utilizzo dell'applicazione QGIS, soprattutto sugli aspetti della visualizzazione e analisi di carte tematiche e nella rappresentazione di dati spaziali. Un bagaglio di esperienze che certamente sarà utile per l'inserimento nel mondo del lavoro.

In terzo luogo, la capacità di lavorare in gruppo per il raggiungimento dell'obiettivo comune.

Infine, sono da citare le conoscenze a valenza generale sulle attività di *governance* ambientale, a seguito della partecipazione (via *web*) del tirocinante ad un *workshop* internazionale organizzato da ISPRA in collaborazione con l'Ambasciata di Italia a Quito, dal titolo "*Agroecología como clave de cooperación científica y política en Italia y Ecuador*".

9.5 Bibliografia e Sitografia

Alessandro Triantafyllidis, Alba Pietromarchi e Luca Colombo, 2018. *Studio veicolazione delle esperienze di biodistretti italiani: i modelli di governance e le buone pratiche dei biodistretti*. Firab, Roma

Italia. Legge 9 marzo 2022, n. 23. *Disposizioni per la tutela, lo sviluppo e la competitività della produzione agricola, agroalimentare e dell'acquacoltura con metodo biologico (GU Serie Generale n.69 del 23-03-2022)*

Rete Rurale Nazionale, 2021. *Approccio agroecologico e Biodistretti. Analisi di due casi di studio, Rete Rurale Nazionale 2014-20 - CREA PB, Roma*

Sturla A., 2019. *Distretti biologici e sviluppo locale Linee guida per la programmazione 2021-2027*, Rete Rurale Nazionale 2014-2020, Roma

Sturla A., et al., 2019. *L'agricoltura biologica per lo sviluppo territoriale. L'esperienza Dei Distretti Biologici Impresa*, Rete Rurale Nazionale 2014-2020, Roma

IN.N.E.R. <https://biodistretto.net/>

ISPRA. *Banca dati indicatori ambientali*. <https://indicatoriambientali.isprambiente.it/it>

ISPRA. *Sistema informativo di Carta della Natura*.
<http://cartanatura.isprambiente.it/Database/Home.php>

Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica. Geoportale Nazionale.
<https://gn.mase.gov.it/portale/home>

10. Sviluppo di un pannello di loci microsatellite in *Panthera tigris* per applicazioni in Genetica della Conservazione e Forense

A cura di Martina Costanza **Maragucci**, studentessa di Biotecnologie animali, Alma Mater Studiorum, Università di Bologna; Federica **Mattucci**, tutor ISPRA, Area per la Genetica della Conservazione – Servizio per il coordinamento delle attività della fauna selvatica

10.1 Introduzione

La riduzione della biodiversità e la perdita irreversibile degli *habitat* dimostra quanto l'uomo con la sua politica economica e con le sue scelte quotidiane stia stravolgendo gli equilibri naturali del nostro pianeta. La tigre (*Panthera tigris*) costituisce una delle specie-bandiera più emblematiche di tale declino. La diminuzione del suo areale di distribuzione di oltre il 50% durante le ultime tre generazioni, con la conseguente frammentazione delle sue popolazioni naturali, infatti, è principalmente dovuta agli effetti deleteri causati dalla distruzione degli habitat, dalla riduzione delle prede, dalla caccia unitamente agli effetti provocati dalle alterazioni climatico-ambientali.

Tuttavia, al declino delle popolazioni naturali si è gradualmente contrapposta la diffusione delle popolazioni in cattività, ospitate presso santuari, centri faunistici, allevamenti privati e circhi. Inizialmente tali popolazioni sono state istituite per fornire un serbatoio di diversità biologica da poter utilizzare per eventuali reintroduzioni e/o ripopolamenti in natura, e quindi per fornire un supporto alla conservazione globale della specie. In realtà, il mancato controllo e la gestione spesso illecita di tali strutture hanno portato molte di queste popolazioni a soffrire a causa di traffici illegali, brutali uccisioni, sfruttamento, scarse condizioni di benessere, provocandone anche l'impoverimento genetico e l'ibridazione interspecifica (per esempio con gli esemplari di *Panthera leo*), causata, perlopiù, dalle condizioni di vita innaturali create presso tali strutture.

Pertanto, la conservazione della specie deve potersi applicare in modo integrato, tutelando la diversità biologica, l'integrità genetica e il benessere animale sia in natura che in cattività. L'applicazione delle metodiche di analisi molecolare ha permesso, nell'ultimo decennio, di quantificare e definire lo *status* di salute e di conservazione delle popolazioni di tigre nel mondo, divenendo così tra gli strumenti più efficaci per la tutela della loro biodiversità. Proprio in questa ottica si inserisce il presente studio che mira a selezionare e ottimizzare un *set* di marcatori molecolari altamente informativi che possa essere utilizzato per monitorare le popolazioni in natura e in cattività.

10.2 Obiettivi

Lo scopo dello studio è quello di sviluppare un pannello di loci microsatellite che sia in grado di descrivere la variabilità genetica degli esemplari appartenenti al genere *Panthera*, in particolare alla specie *Panthera tigris*, e che sia altamente informativo per: ricostruire il profilo genetico degli esemplari di tigre analizzati; identificare l'appartenenza tassonomica e l'origine genetica delle popolazioni; ricostruire le relazioni parentali; identificare gli ibridi interspecifici.

Il pannello di *loci* identificato potrà essere applicato in genetica forense ed eventualmente anche in natura, nell'ambito di specifici progetti di conservazione *in situ* che prevedano dei monitoraggi genetici di tipo invasivo (e non invasivo).

10.3 Attività svolta

Le analisi del presente lavoro sono state condotte su 156 campioni biologici appartenenti a esemplari del genere *Panthera*.

Di questi, 112 campioni biologici appartengono alla biobanca ISPRA (banca dati CITES, Convention on International Trade of Endangered Species) e comprendono 111 peli e un campione di tessuto collezionati in modalità invasiva da: *Panthera tigris* (n.104), *Panthera leo* (n.4), *Panthera tigris* x *Panthera leo* (n.4). Tali campioni sono stati utilizzati per ottimizzare il protocollo di amplificazione di un set di 25 *loci* microsatellite specie specifico dei Felidi e per testarne il potere informativo relativamente alla discriminazione degli individui e delle relazioni parentali.

I restanti 44 campioni biologici sono stati collezionati per questo studio grazie alla collaborazione tra ISPRA e la Fondazione Bioparco Zoom di Torino e la Fondazione Bioparco di Roma mediante la messa a punto di un campionamento biologico di tipo non invasivo che prevedesse l'utilizzo di marcature alimentari o colorate. All'interno del bioparco Zoom di Torino sono stati collezionati: 12 campioni fecali, 12 *swab* fecali e 3 *swab* salivari appartenenti a 3 individui di *Panthera tigris* ssp (utilizzati nelle successive analisi di genotipizzazione molecolare per associare a ciascun individuo i campioni biologici campionati in modalità non invasiva). All'interno del bioparco di Roma sono stati collezionati per ciascuno dei tre individui di *Panthera tigris* ssp: 6 campioni fecali, 6 *swab* fecali e 3 *swab* salivari (utilizzati nelle successive analisi di genotipizzazione molecolare per associare a ciascun individuo i campioni biologici campionati in modalità non invasiva), in aggiunta a 2 *swab* salivari appartenenti a 2 esemplari di *Panthera leo* ssp. Sia i campioni fecali che gli *swab* fecali sono stati collezionati con e senza la presenza di marcature alimentari e/o colorate al fine di testare la resa di genotipizzazione dei vari metodi di campionamento. I campioni non invasivi sono stati utilizzati per verificare l'informatività del set di *loci* microsatellite scelto relativamente alla discriminazione tassonomica e all'identificazione degli ibridi.

Il DNA nucleare è stato estratto da ciascun campione biologico ed amplificato a 25 *loci* microsatellite utilizzando il protocollo di analisi *multitube approach* per i campioni non invasivi.

I 25 *loci* analizzati sono risultati molto variabili ed informativi, mostrando un elevato contenuto polimorfico (PIC = 0,609), un coefficiente di *inbreeding* complessivamente basso (FIS = 0,089) ed un ampio *range* di ricchezza allelica NAR variabile da 2 – 4 a 10. Il *set* è risultato informativo anche per rilevare i gruppi familiari e le relazioni parentali esistenti tra gli individui, con una probabilità media di assegnazione di paternità e maternità del 94,2%. L'elevata capacità di discriminare gli individui strettamente imparentati tra loro, che viene descritta dai bassi valori di PID = 2,3x10–21 e PIDsibs = 3,5x10–9 rilevati, rende tali marcatori promettenti anche per gli studi di genetica di popolazioni e dinamica di popolazione nei monitoraggi genetici di tipo non invasivo.

Le analisi multivariate delle componenti principali (PCA), le analisi di assegnazione Bayesiana e quelle di assegnazione *Maximum Likelihood* permettono di identificare le diverse sottospecie di *Panthera* analizzate ed identificano 3 *cluster* genetici principali tra gli individui non imparentati dichiarati come *P. tigris tigris* nella biobanca ISPRA, che potrebbero rappresentare popolazioni diverse della stessa sottospecie o unità tassonomiche diverse (sottospecie diverse) (Fig. 10.1A). Il *set* di microsatelliti amplificato è risultato inoltre altamente informativo anche per identificare gli ibridi generati in cattività dall'incrocio tra *Panthera tigris* e *Panthera leo* (Fig. 10.1B).

Un pannello ridotto di 12 *loci* è stato infine selezionato per analizzare i campioni biologici non invasivi. I 12 *loci* sono stati scelti sulla base dei loro minori valori di PID e PIDsibs, il minor tasso di errore di genotipizzazione ed i più ampi valori di variabilità, eterozigosità e polimorfismo. La resa di genotipizzazione più elevata si è registrata con gli *swab* salivari e con la marcatura alimentare; tuttavia, i pochi campioni analizzati non permettono di avere delle stime significative. Il *set* ridotto di *loci* è risultato avere lo stesso potere risolutivo del *set* completo ed è risultato essere informativo per il riconoscimento individuale dei campioni analizzati, per la determinazione degli ibridi interspecifici e per la differenziazione delle sottospecie e delle sottopopolazioni.

10.4 Conclusioni

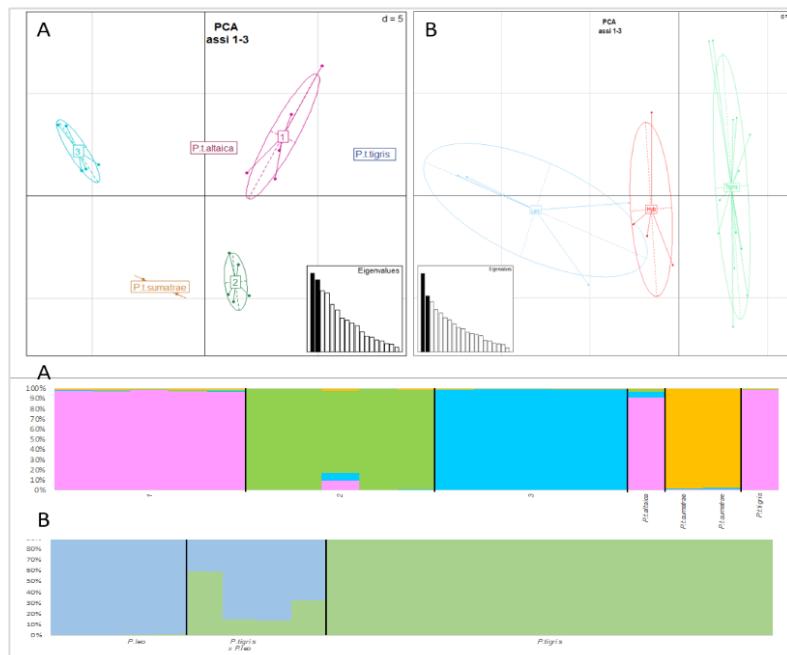
I risultati ottenuti hanno mostrato l'efficienza di un pannello di 25 *loci* microsatellite da poter applicare nell'ambito di progetti di monitoraggio e conservazione in natura delle specie del genere *Panthera*. La selezione di un *set* ridotto di 12 *loci* che sono risultati altamente informativi e variabili anche utilizzando campioni di tipo non invasivo, cioè con DNA ridotto e di scarsa qualità, suggerisce la possibilità di poter applicare tali marcatori anche in ambito forense o per monitoraggi genetici di tipo non invasivo di popolazioni selvatiche.

In merito alle diverse metodiche non invasive, l'utilizzo degli *swab* fecali è preferibile al campionamento fecale classico in quanto, oltre a garantire un miglior risultato di genotipizzazione, permette di ridurre i costi del campionamento, lo spazio necessario per lo stoccaggio e la possibilità di contaminazione del campione fecale. L'utilizzo delle marcature sperimentate sui campioni fecali, sebbene non abbia prodotto stime significative a causa dello scarso numero di campioni analizzati e richieda una maggiore organizzazione rispetto al campionamento non invasivo *standard*, sarebbe comunque da testare ulteriormente al fine di valutarne il metodo, in quanto potrebbe essere uno strumento utile nelle situazioni in cui vi è la necessità associare direttamente il campione biologico all'animale, come per esempio per i controlli sanitari o i monitoraggi in cattività di singoli animali per i quali, soprattutto se presenti in gruppi familiari, l'identificazione tramite escrementi potrebbe rivelarsi difficile.

Per il futuro, si ritiene inoltre necessario incrementare la rappresentatività di ciascuna sottospecie di tigre e di implementare anche le porzioni più informative del DNA mitocondriale, al fine di fornire uno strumento molecolare integrato e completo che possa essere applicato per monitorare e studiare sia le popolazioni in natura che quelle in cattività.

Fig 10.1 - Plot della variabilità genetica

*Analisi delle componenti principali (PCA in alto) ed analisi Bayesiana (in basso) riportante: A) i 3 cluster genetici identificati negli esemplari di putative *Panthera tigris* ssp non imparentati della Biobanca ISPRA e le 3 sottospecie di *Panthera* campionate negli zoo nel presente studio; B) le due specie di *Panthera* (*Panthera leo* e *Panthera tigris*) campionate negli zoo nel presente studio e degli ibridi tra essi (*Panthera tigris* x *Panthera leo*) generati in cattività.*



10.5 Bibliografia

- Caniglia R., Fabbri E., Greco C. & Randi E., 2006. *Ricerca scientifica e strategie per la conservazione del lupo (Canis lupus) in Italia*. Quaderni di Conservazione della Natura n. 33, 33–90
- Caniglia, R., Fabbri, E., Galaverni, M., Milanesi, P., & Randi, E., 2014. *Noninvasive sampling and genetic variability, pack structure, and dynamics in an expanding wolf population*. *Journal of Mammalogy*, 95(1), 41–59. 10.1644/13-mamm-a-039
- Dinerstein, E., Loucks, C., Wikramanayake, E., Ginsberg, J., Sanderson, E., Seidensticker, J., Forrest, J., Bryja, G., Heydlauff, A., Klenzendorf, S., Leimgruber, P., Mills, J., O'Brien, T. G., Shrestha, M., Simons, R., Songer, M. 2007. *The fate of wild tigers*. *Bioscience*, 57(6), 508–514. 10.1641/B570608
- Galaverni, M., Palumbo, D., Fabbri, E., Caniglia, R., Greco, C., & Randi, E., 2011. *Monitoring wolves (Canis lupus) by non-invasive genetics and camera trapping: a small-scale pilot study*. *European Journal of Wildlife Research*, 58(1), 47–58. 10.1007/s10344-011-0539-5
- Lugli, F., Caniglia, R., Mattioli, L., Fabbri, E., Mencucci, M., Cappai, N., Mucci, N., Apollonio, M., & Scandura, M., 2021. *Lifelong non-invasive genetic monitoring of a philopatric female wolf in the Tuscan Apennines, Italy*. *European Journal of Wildlife Research*, 67(6). 10.1007/s10344-021-01548-5
- Mattucci, F., Oliveira, R., Bizzarri, L., Vercillo, F., Anile, S., Ragni, B., Lapini, L., Sforzi, A., Alves, P. C., Lyons, L. A., & Randi, E., 2013. *Genetic structure of wildcat (Felis silvestris) populations in Italy*. *Ecology and Evolution*, 3(8), 2443–2458. <https://doi.org/10.1002/ece3.569>
- Mattucci, F., Oliveira, R., Lyons, L.A., Alves, P.C. and Randi, E. (2016), European wildcat populations are subdivided into five main biogeographic groups: consequences of Pleistocene climate changes or recent anthropogenic fragmentation? *Ecol Evol*, 6: 3–22. <https://doi.org/10.1002/ece3.1815>
- Menotti-Raymond, M., David, V. A., Lyons, L. A., Schäffer, A. A., Tomlin, J. F., Hutton, M., & O'Brien, S. J., 1999. *A Genetic Linkage Map of Microsatellites in the Domestic Cat (Felis catus)*. *Genomics*, 57(1), 9–23. 10.1006/geno.1999.5743
- Menotti-Raymond, M., 2003. *Second Generation Integrated Genetic Linkage/Radiation Hybrid Maps of the Domestic Cat (Felis catus)*. *Journal of Heredity*, 94(1), 95–106. 10.1093/jhered/esg008

11. Distretti biologici e sviluppo locale

A cura di Giulia **Marchese**, studentessa di Scienze geografiche per l'ambiente e la salute, Sapienza Università di Roma; Roberto **Sannino**, tutor ISPRA, Area per la conservazione e la gestione della flora, della vegetazione e delle foreste, degli habitat e degli ecosistemi dei suoli e per l'uso sostenibile delle risorse agroforestali - Dipartimento per il monitoraggio e la tutela dell'ambiente e per la conservazione della biodiversità

11.1 Introduzione

La diffusione della produzione biologica, quale contributo alla tutela dell'ambiente e per rispondere a una domanda in continua crescita di alimenti sicuri, è un processo che da anni caratterizza l'agricoltura nel nostro Paese. Il percorso si è accompagnato al fenomeno nazionale dei territori rurali spontaneamente organizzati in distretto biologico.

Nell'ambito del tirocinio lo sviluppo territoriale dei distretti biologici è stato analizzato in rapporto al sistema delle aree naturali, cioè i territori di rilevante valore naturalistico e ambientale, sottoposti a un regime di tutela e di gestione ambientale e costituiti dalla integrazione e sovrapposizione delle aree protette nazionali e regionali e della Rete Natura 2000.

Le argomentazioni elaborate fanno riferimento al recente contesto normativo dei distretti biologici, definito da legislatore nazionale nella nuova legge sulla produzione biologica (Legge 9 marzo 2022, n. 23).

Parole chiave: agricoltura biologica, sviluppo rurale, sviluppo sostenibile, aree naturali protette, pianificazione territoriale.

11.2 Obiettivi

Con la volontà di fornire al tirocinante una conoscenza di base, teorica e di pratica professionale, sono stati individuati tre obiettivi principali.

Il primo è l'apprendimento di nozioni tecniche sull'adattamento dell'agricoltura agli obiettivi dello sviluppo sostenibile delle aree rurali, nel contesto della transizione ecologica e della pianificazione territoriale.

Il secondo è l'acquisizione di competenze tecnico-scientifiche nell'analisi GIS (*Geographic information system*) di cartografia settoriale e nella elaborazione di dati statistici qualitativi.

Il terzo è la conoscenza di metodi professionali per la lettura critica e l'analisi della documentazione tecnico scientifica di riferimento e per la redazione di documenti e testi a carattere tecnico-scientifico.

11.3 Attività svolta

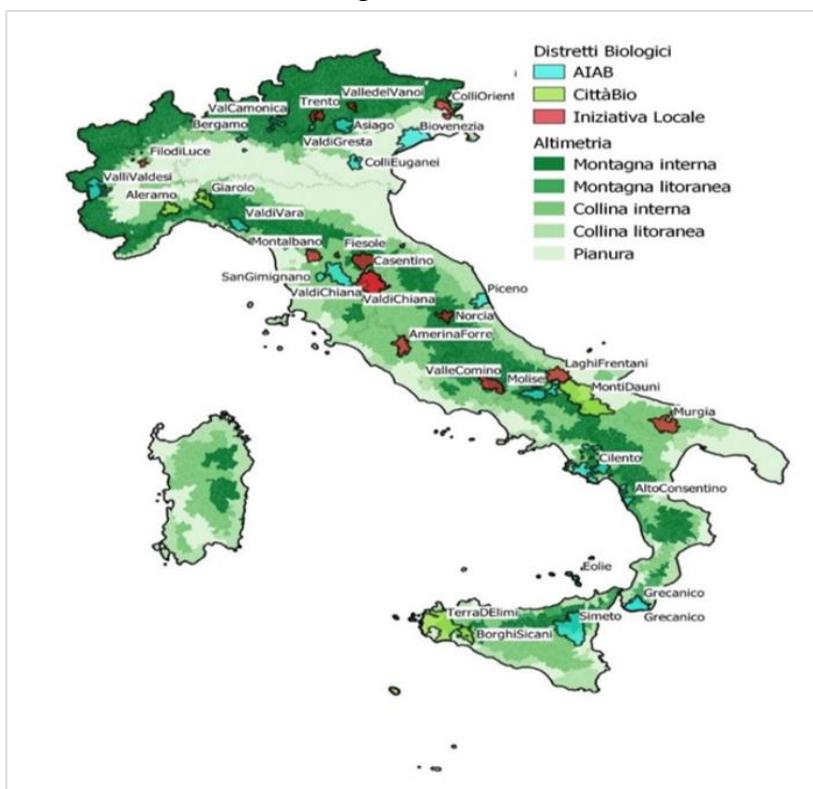
L'attività di tirocinio può essere suddivisa in quattro fasi principali. Di seguito la descrizione sintetica.

11.3.1 Fase preliminare di acquisizione delle conoscenze

Al fine di delimitare il contesto operativo di riferimento e individuare la metodologia di lavoro, le attività preliminari sono state indirizzate su tre aspetti prioritari, quali:

- l'apprendimento delle informazioni tecniche sull'utilizzo operativo dell'applicazione desktop GIS *open source* (QGIS);
- l'analisi degli elementi strutturali principali del fenomeno dei distretti biologici. La documentazione è stata fornita dal Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria (CREA) (Fig 11.1);
- lo studio degli aspetti essenziali del sistema delle aree naturali protette. La documentazione è stata messa a disposizione da ISPRA.

Fig 11.1 - Distribuzione dei distretti biologici sul territorio nazionale.



Fonte Rete internazionale dei bio-distretti (IN.N.E.R.)

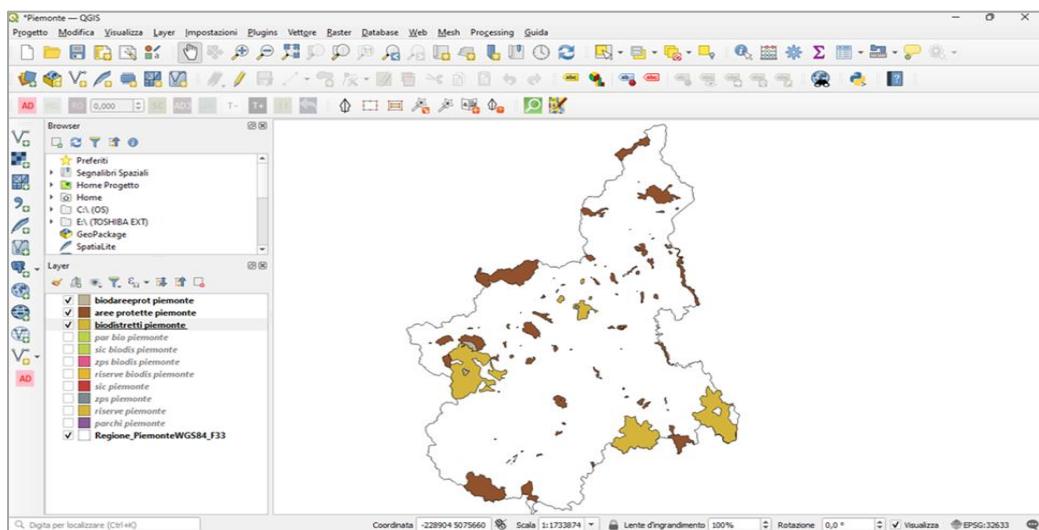
11.3.2 Fase di sviluppo delle conoscenze

L'attività si è concentrata sull'analisi preliminare delle cartografie di settore e nell'acquisizione di informazioni tecniche per l'elaborazione di dati statistici nel contesto del programma excel (Fig 11.2).

Gli elementi territoriali sviluppati hanno riguardato:

- c) la cartografia sui distretti biologici, messa a disposizione dal CREA (Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria);
- d) la cartografia ambientale relativa al sistema delle aree protette, fornita da ISPRA.

Fig 11.2 - Esempio di lavoro cartografico su QGIS – regione Piemonte.



Fonte: elaborazione G. Marchese; Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE)

11.3.3 Fase di acquisizione di competenze

Le attività hanno riguardato tre ambiti lavorativi.

Il primo è da identificare nella selezione delle tipologie di distretti di sviluppo locale di riferimento, tramite una metodologia di analisi individuata dal tirocinante insieme a ISPRA.

Il secondo ha riguardato lo sviluppo del lavoro cartografico, orientato principalmente alla definizione della intersezione dei dati spaziali con le aree territoriali. Le attività di visualizzazione e organizzazione dei dati sono state svolte tramite lo strumento QGIS.

Il terzo consiste nell'elaborazione dei dati statistici in ambiente excel (Tab 11.1). Questa attività ha riguardato la estrapolazione dei dati informativi su scala regionale, la suddivisione dei dati generali sui distretti biologici per le categorie individuate, la

ripartizione delle aree protette per i livelli di protezione nazionale esistenti, l'analisi statistica delle cartografie derivate e l'elaborazione dei dati in forma tabellare.

Tab 11.1 - Estensione dei parchi nazionali e dei parchi regionali inclusi nei biodistretti. Dati 2022 su scala regionale. Superficie in km2.

Regione	Superficie parchi nazionali	Estensione parchi nazionali nei biodistretti	Superficie parchi regionali	Estensione parchi regionali nei biodistretti
Abruzzo	2336,8	0,4	557,8	0,0
Basilicata	1576,4	0,0	346,6	0,0
Calabria	2353,6	943,2	176,5	0,0
Campania	1864,1	793,6	1490,1	0,4
Emilia-Romagna	3,6	102,0	463,3	0,0
Friuli-Venezia Giulia	0,0	0,0	467,7	0,0
Lazio	300,4	80,8	1144,9	36,1
Liguria	38,4	0,0	225,2	93,0
Lombardia	597,7	0,0	620,2	65,3
Marche	611,2	0,7	214,4	0,0
Molise	40,3	0,2	0,0	0,0
Piemonte	488,0	0,0	969,3	42,9
Puglia	1884,4	361,1	656,3	71,8
Sardegna	842,5	0,0	66,4	64,6
Sicilia	65,9	65,4	1838,2	1156,3
Toscana	424,9	107,3	515,0	0,0
Trentino-Alto Adige	710,8	0,0	1936,6	27,5
Umbria	179,8	155,6	405,0	0,1
Valle D'Aosta	370,4	0,0	57,7	0,0
Veneto	309,4	0,0	808,6	241,9

11.3.4 Fase finale delle attività formative

L'ultimo periodo temporale ha coinciso con la revisione finale del lavoro cartografico e della documentazione di elaborazione statistica realizzati nelle fasi precedenti, con la prospettiva della successiva stesura di un articolo tecnico scientifico sul tema della valorizzazione della tracciabilità ambientale delle produzioni biologiche.

11.4 Conclusioni

Il positivo coinvolgimento e l'impegno dedicato allo studio della documentazione tecnica di riferimento hanno consentito al tirocinante di sviluppare un'attività formativa di discreto valore scientifico, anche in virtù della originalità dei dati statistici elaborati.

Diverse sono le conoscenze, competenze e abilità scientifiche acquisite.

In primo luogo, le conoscenze professionali sviluppate sugli argomenti di lavoro trattati e una visione più ampia sulle questioni ambientali e rispetto alla sostenibilità delle risorse naturali.

In secondo luogo, le conoscenze e abilità informatiche avanzate nei programmi *word* ed *excel* nonché le competenze tecnico professionali nell'utilizzo dell'applicazione QGIS, soprattutto sugli aspetti della visualizzazione e analisi di carte tematiche e nella rappresentazione di dati spaziali. Un bagaglio di esperienze che certamente sarà utile per l'inserimento nel mondo del lavoro.

In terzo luogo, la capacità di lavorare in gruppo per il raggiungimento dell'obiettivo comune.

Infine, sono da citare le conoscenze a valenza generale sulle attività di *governance* ambientale, a seguito della partecipazione (via *web*) del tirocinante ad un *workshop* internazionale organizzato da ISPRA in collaborazione con l'Ambasciata di Italia a Quito, dal titolo "*Agroecología como clave de cooperación científica y política en Italia y Ecuador*".

11.5 Bibliografia e Sitografia

Alessandro Triantafyllidis, Alba Pietromarchi e Luca Colombo, 2018. *Studio veicolazione delle esperienze di biodistretti italiani: i modelli di governance e le buone pratiche dei biodistretti*. Firab, Roma

Italia. Legge 9 marzo 2022, n. 23. *Disposizioni per la tutela, lo sviluppo e la competitività della produzione agricola, agroalimentare e dell'acquacoltura con metodo biologico (GU Serie Generale n.69 del 23-03-2022)*

Rete Rurale Nazionale, 2021. *Approccio agroecologico e Biodistretti. Analisi di due casi di studio, Rete Rurale Nazionale 2014-20 - CREA PB*, Roma

Sturla A., 2019. *Distretti biologici e sviluppo locale Linee guida per la programmazione 2021-2027*, Rete Rurale Nazionale 2014-2020, Roma

Sturla A., et al., 2019. *L'agricoltura biologica per lo sviluppo territoriale. L'esperienza Dei Distretti Biologici Impresa*, Rete Rurale Nazionale 2014-2020, Roma

IN.N.E.R. <https://biodistretto.net/>

ISPRA. *Banca dati indicatori ambientali*. <https://indicatoriambientali.isprambiente.it/it>

ISPRA. *Sistema informativo di Carta della Natura*.
<http://cartanatura.isprambiente.it/Database/Home.php>

Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica. Geoportale Nazionale.
<https://gn.mase.gov.it/portale/home>

12. Agricoltura biologica in Toscana: ruolo del settore agricolo in relazione al cambiamento climatico inteso come emissioni di gas serra

A cura di Isabella Pasquino, studentessa di Scienze agrarie, Università degli Studi di Firenze; Valentina Rastelli, tutor ISPRA, Area per la conservazione e la gestione della flora, della vegetazione e delle foreste, degli habitat e degli ecosistemi dei suoli e per l'uso sostenibile delle risorse agroforestali – Dipartimento per il monitoraggio e la tutela dell'ambiente e per la conservazione della biodiversità

12.1 Introduzione

Il clima terrestre è influenzato da fenomeni naturali (e.g. lo spostamento dell'asse terrestre, le variazioni dell'attività solare, l'attività vulcanica) e da processi che derivano da attività umane (e.g. l'aumento delle concentrazioni dei gas a effetto serra nell'atmosfera, la deforestazione e i cambiamenti d'uso del suolo). Senza sottovalutare gli effetti dei primi, la comunità scientifica è d'accordo nell'attribuire alle attività umane "gran parte del riscaldamento osservato negli ultimi 50 anni".

A partire dagli anni '50 del secolo scorso, sono stati osservati eventi meteorologici estremi che hanno impattato sui sistemi naturali e antropici, evidenziando anche la vulnerabilità dei sistemi agricoli.

Nonostante l'agricoltura sia uno dei settori più colpiti dal cambiamento climatico (CC), è anche responsabile di un terzo delle emissioni di gas serra (GHG) a livello mondiale, quali CO₂, CH₄ e N₂O. Le emissioni provenienti dall'attività agricola dipendono da diversi fattori, tra cui la gestione delle risaie, la fertilizzazione (soprattutto azotata), la gestione dei rifiuti zootecnici e l'uso di energia e carburanti.

I CC che si stanno verificando portano, anche attraverso eventi estremi, ad un'accelerazione dei processi di degradazione del suolo, tra cui impermeabilizzazione, compattazione, erosione e contaminazione. Tuttavia, le attività umane quali la deforestazione e l'agricoltura influiscono in egual maniera.

Nonostante su alcune colture i CC abbiano influenza positiva, nella maggior parte dei casi non è così: è stato osservato che l'aumento della concentrazione di CO₂ nell'aria causa anomalie nei processi fondamentali per le piante, come la fotosintesi e la respirazione, influenzando crescita e sviluppo.

Il clima futuro sarà strettamente dipendente dalle emissioni di GHG: alla fine del secolo corrente le temperature potrebbero aumentare in un range di 0.3 e 4.8 °C, a seconda dello scenario delle emissioni. Con l'incremento della temperatura si avrà una maggiore intensità e frequenza di eventi estremi, inclusi cambiamenti a livello di precipitazioni e una spinta allo scioglimento dei ghiacciai con conseguente aumento del livello del mare.

L'agricoltura italiana è caratterizzata da una marcata diversità territoriale e produttiva, che la rende uno dei settori più economicamente rilevanti nel nostro Paese. Incidono principalmente coltivazioni, allevamenti e attività secondarie realizzate al di fuori del settore agricolo.

Un altro aspetto caratteristico è la differenziazione tra le regioni: la produzione agricola ha migliori *performance* in Lombardia, Emilia-Romagna, Piemonte e Veneto, mentre in Calabria e Sicilia, regioni specializzate in agrumi e olive, le attività sono meno consistenti.

Alcune ricerche dell'ISPRA, prendendo come valori di riferimento quelli inerenti all'arco temporale 1961-1990, evidenziano che in Italia nel 2019 si sono verificati: una riduzione di 15 giorni con gelo, un aumento di 15 giorni estivi anomali e un incremento della temperatura media annuale di 1.5 °C.

Per quanto riguarda le emissioni di CO₂ equivalente per settore in Italia, l'agricoltura risulta piuttosto costante; tuttavia, da un punto di vista generale, negli ultimi 10 anni è stato riscontrato un forte calo di emissioni da parte del settore energetico. L'emissione di CH₄ agricolo rappresenta più di un terzo del totale e dal 2013 è in leggera diminuzione, così come quella di N₂O, grazie a tecniche più sostenibili (e.g. rotazione colturale) e alla riduzione dei fertilizzanti azotati. In generale, dal 1990 al 2019 il settore agricolo ha visto una diminuzione delle emissioni di GHG di circa 10 MtCO₂eq.

L'agricoltura italiana è tra i settori più vulnerabili agli effetti dei CC, che colpiscono la stabilità della produzione alimentare, causando diminuzione della produttività delle principali colture, spostamento delle coltivazioni verso nord e riduzione delle risorse idriche. Il settore agroalimentare vedrà un calo delle capacità produttive con ricadute sulle produzioni tipiche di qualità.

In Toscana, le coltivazioni sono il comparto principale, seguito da allevamenti e attività connesse come agriturismo, trasformazione di prodotti e produzione di energia rinnovabile. Negli ultimi anni, l'agricoltura toscana si è distinta per una crescita della produttività e della redditività.

12.2 Obiettivi

Gli obiettivi del tirocinio sono stati lo studio e la valutazione del cambiamento climatico e degli impatti già avvenuti e attesi sui sistemi agricoli ed in particolare sui suoli agricoli. L'attenzione è stata posta sulla regione Toscana, confrontandone dati e contesti con altre regioni, a livello nazionale ed europeo. Inoltre, è stato scritto un articolo sul tema dei cambiamenti climatici (intesi come emissioni di gas serra) causati dal settore agricolo, correlati ai fenomeni di degradazione dei suoli, prendendo come riferimento le principali colture erbacee coltivate in Toscana e concentrandosi anche sull'impatto del metodo biologico nella mitigazione delle emissioni.

12.3 Attività svolta

Le attività principalmente svolte sono state la ricerca bibliografica, l’analisi e l’elaborazione di dati, oltre che la stesura dell’articolo sopra menzionato. Inizialmente è stato necessario informarsi, tramite ricerca bibliografica a proposito della degradazione dei suoli: cause, processi ed effetti. Constatato il ruolo del cambiamento climatico in questo contesto, sono state prese in considerazione le principali cause di emissioni dei gas serra a livello globale, per poi concentrarsi su quelle provenienti dall’agricoltura, settore molto sensibile agli effetti dei CC ma al contempo responsabile delle emissioni.

È stato scelto di contestualizzare lo studio alla Regione Toscana (dopo aver affrontato il tema a livello globale, europeo e nazionale) e, più dettagliatamente, alle colture erbacee. Così da avere un termine di paragone, si è fatto riferimento all’incremento dei terreni coltivati secondo metodo biologico negli anni dal 2012 al 2020, in modo da notare quanto un’agricoltura “alternativa” sia in grado di mitigare le emissioni di gas serra.

Per questa ricerca sono stati rielaborati dati provenienti principalmente da censimenti dell’Istituto nazionale di Statistica (ISTAT), da studi e ricerche dell’Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), dell’*Intergovernmental Panel of Climate Change* (IPCC), del Sistema d’Informazione Nazionale sull’Agricoltura Biologica (SINAB), della Regione Toscana o da altri enti con attività inerenti all’argomento d’interesse.

12.4 Conclusioni

I risultati conseguiti evidenziano come l’aumento di seminativi biologici in Toscana sia stato in grado, dal 2012 al 2020 (anni presi come riferimento), di ridurre le emissioni di CH₄, CO₂ e NO₂, portando al conseguente mantenimento della fertilità a lungo termine dei suoli. Sono state analizzate le principali fonti di emissione quali: (i) la gestione delle risaie; (ii) l’uso di fertilizzanti sintetici; (iii) l’attività delle colture azotofissatrici; (iv) la gestione dei residui culturali; (v) l’uso delle deiezioni animali in agricoltura; (vi) lo smaltimento dei fanghi di depurazione in agricoltura; (vii) l’uso di carburanti (ISPRA, 2021a).

Il quantitativo di emissioni è espresso in *Global Warming Potential* (GWP), cioè il potenziale di riscaldamento globale di un gas serra rispetto a quello dell’anidride carbonica; si parla quindi di kg di CO₂ equivalenti per ciascun gas serra. Le colture prese in considerazione sono: frumento tenero, frumento duro, segale, orzo, avena, mais, riso, triticale, sorgo, pisello, fagiolo secco, fava, lino, colza, girasole, soia, erba medica, prati avvicendati.

Per stimare le emissioni dall’attività agricola, sono stati analizzati diversi aspetti, tra cui la fertilizzazione (soprattutto azotata), la gestione dei rifiuti zootecnici e la

presenza di colture azotofissatrici. Inoltre, è stata posta attenzione anche sul carbonio presente nel suolo, che rappresenta la più grande riserva di carbonio organico (*Soil Organic Carbon – SOC*), concentrato nei primi 30 cm del terreno (*topsoil*). Il bilancio del carbonio non è semplice da valutare, tuttavia, l'ISPRA ha sviluppato una mappatura regionale e nazionale per stimare i pool di carbonio (t/ha) nel suolo italiano. Dall'analisi dei dati ISPRA risulta che in Toscana, nel 2012, lo stock di CO era di 213,961 migliaia di t e la perdita media annuale dal 2012 al 2020 è stata di 15,018 t. Tuttavia, il *trend* negativo sembra attenuarsi dal 2019.

Negli ultimi 15 anni, in Italia, si è verificata una crescita del settore biologico e, al 2021, l'incidenza della superficie biologica sulla SAU totale è del 17,4%. In Toscana l'incidenza delle superfici biologiche è del 34,1% e quella delle aziende agricole biologiche è del 13,8%. La superficie a seminativo coltivata con metodo biologico in Toscana è 122.879 ha. L'agricoltura biologica punta al mantenimento della fertilità del suolo, eliminando i fertilizzanti di sintesi, erbicidi e fitofarmaci, riducendo le lavorazioni profonde e privilegiando la minima lavorazione (*minimun tillage*) o la non lavorazione (*no tillage*).

L'agricoltura biologica ha un impatto ambientale inferiore rispetto a quella convenzionale grazie a minore consumo di energia fossile (-30%) e acqua, oltre all'assenza di trattamenti chimici. Tuttavia, si registra una riduzione del 20-25% della produttività dei suoli biologici, con i cereali che vedono una diminuzione della resa media del 25% per la minore disponibilità di macroelementi come N e P.

Come si può notare dalle Tabb. 12.1 e 12.2, le emissioni da agricoltura biologica sono aumentate, mentre quelle da agricoltura convenzionale sono diminuite, poiché molti terreni sono stati convertiti a biologico tra il 2012 e il 2020. Complessivamente, in Toscana, l'adozione del metodo biologico ha contribuito alla riduzione delle emissioni di GHG, favorendo la mitigazione dei processi di degradazione del suolo e preservandone la fertilità.

Tab 12.1 – Emissioni di gas a effetto serra delle principali fonti di emissioni in ambito agricolo analizzate, espresse come Global Warming Potential (GWP), riferite agli anni 2012 e 2020

Fonte dell'emissione	GWP 2012	GWP 2020
Risaie	2,55091E+15	2,48102E+15
Fertilizzanti sintetici	83.3075.889	73.877.309,5
Colture azotofissatrici	27.683.847,75	41.195.849,94
Residui culturali	438.568.735,8	1.721.675.391
Fanghi di depurazione	0	0
Emissioni indirette	7.946.343.341	704.683.059,6
Totale	2,55092E+15	2,48103E+15

Fonte: Bibliografia, elaborazione I. Pasquino

Tab 12.2 – Emissioni di gas a effetto serra da agricoltura biologica e convenzionale, espresse come Global Warming Potential (GWP), riferite agli anni 2012 e 2020

Anno	GWP da agricoltura biologica	GWP da agricoltura convenzionale
2012	2,68329E+14	2,28259E+15
2020	5,60707E+14	1,92032E+15

Fonte: Bibliografia, elaborazione I. Pasquino

12.5 Bibliografia e Sitografia

Challinor A.J., Watson J., Lobell D.B., Howden S.M., Smith D.R., Chhetri N., 2014. A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation *Nature Climate Change* 4(4), 287-291. <https://doi.org/10.1038/nclimate2153>

Ciccarese L., Silli V., 2015. *Agricoltura biologica, una scelta giusta per l'ambiente, la sicurezza alimentare e la salute?* Energia, Ambiente e Innovazione (EAI), Rapporto 3/2015. <https://www.isprambiente.gov.it/files/biodiversita/8Agricolturabiologica.pdf>

DaMatta F.M., Grandis A., Arenque B.C., Buckeridge M.S., 2010. Impacts of climate changes on crop physiology and food quality. *Food Research International* 43 (2010) 1814–1823. https://www.ukm.my/ipi/wp-content/uploads/2013/07/42_2010_Impacts-of-climate-changes-on-crop-physiology-and-food-quality.pdf

Ferreira C.S.S., Seifollahi-Aghmiuni S., Destouni G., Ghajarnia N., Kalantari Z., 2022. *Soil degradation in the European Mediterranean region: Processes, status and*

consequences. Sci Total Environ. 2022 Jan 20;805:150106. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.150106. Epub 2021 Sep 4. PMID: 34537691

Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC), 2014. *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. Working Group III Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_full.pdf

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), 2021a. *Indicatore "Carbonio organico del suolo e impatto del consumo di suolo"*. <https://indicatoriambientali.isprambiente.it/it/suolo/carbonio-organico-del-suolo-e-impatto-del-consumo-di-suolo>

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), 2021b. *Indicatore "Emissioni di gas serra (CO₂, CH₄, N₂O, HFCS, PFCS, SF₆): disaggregazione settoriale"*. <https://indicatoriambientali.isprambiente.it/it/emissioni/emissioni-di-gas-serra-co2-ch4-n2o-hfcs-pfcs-sf6-disaggregazione-settoriale>

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), 2021c. *Indicatori "Giorni con gelo", "Giorni estivi", "Onde di calore", "Temperatura media"*. <https://indicatoriambientali.isprambiente.it/it/clima>

Rete di Informazione Contabile Agricola (RICA), 2021. *Le aziende agricole in Italia - risultati economici e produttivi, caratteristiche strutturali, sociali ed ambientali. Rapporto RICA 2021 – periodo 2016-2019*

<https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/carta-dei-suoli-ditalia-soil-map-italy>

<https://www.istat.it/statistiche-per-temi/censimenti/agricoltura>

<https://www.sinab.it/>

13. Relazione tra livello del mare ed eventi meteorologici: uno studio lungo la costa italiana

*A cura di Gaël **Raffy**, studente di Metodi statistici e applicazioni, Sapienza Università di Roma; Arianna **Orasi** e Marco **Picone**, tutor ISPRA, Area per il monitoraggio dello stato fisico del mare e per la climatologia marina – Centro nazionale per la caratterizzazione ambientale e la protezione della fascia costiera, la climatologia marina e l'oceanografia operativa*

13.1 Introduzione

In che misura le variabili meteorologiche hanno influenzato l'evoluzione del livello del mare negli ultimi 20 anni? L'obiettivo di questo studio è condurre un'analisi sull'evoluzione del livello del mare su tutta la costa italiana. A tal fine, non potendo proiettare le descrizioni del cambiamento del livello del mare da una scala globale a una scala locale è stato necessario sottolineare il ruolo dei processi locali. Questi ultimi hanno preso la forma, in questo studio, di eventi meteorologici. L'obiettivo è quello di comprendere il comportamento generale del livello del mare analizzando le sue variazioni in relazione agli eventi meteorologici. Per tale scopo è stato costruito un modello statistico in grado di catturare la relazione tra il livello del mare e gli effetti locali, utilizzando le lunghe serie temporali di dati raccolti dalle stazioni mareografiche dell'ISPRA situate lungo tutta la costa italiana. Per poter catturare gli effetti regionali è stato elaborato un modello generale che potesse essere riutilizzato per tutte le diverse regioni italiane.

13.2 Obiettivi

Questo studio mira a comprendere l'andamento generale del livello del mare in relazione agli eventi meteorologici, analizzando le serie temporali degli ultimi 20 anni raccolte dalle diverse stazioni mareografiche dell'ISPRA situate lungo la costa italiana. Il modello statistico utilizzato ha finalità descrittive e non previsionali.

13.2.1 Tipo di dati

La nostra analisi è stata condotta utilizzando dati della Rete Mareografica Nazionale (RMN), dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA). Si tratta di 36 stazioni di misura uniformemente distribuite sul territorio nazionale e situate principalmente all'interno di strutture portuali. Per costruire il nostro modello, ci siamo concentrati soprattutto sulla stazione di Ancona. Abbiamo utilizzato i dati raccolti nel periodo compreso tra gennaio 2000 e gennaio 2022.

13.2.2 Variabili

Oltre alle misure del livello del mare, il modello da stimare include anche variabili meteorologiche. La lista delle variabili usate in questo studio, e delle loro unità di misura, è presentata qui di seguito:

- livello del mare (metri);
- pressione atmosferica (ettopascal, hPa);
- temperatura dell'aria (gradi celsius, C);
- temperatura dell'acqua (gradi celsius, C);
- direzione del vento (gradi, dove il Nord è il riferimento);
- velocità del vento (metri per secondo, m/s).

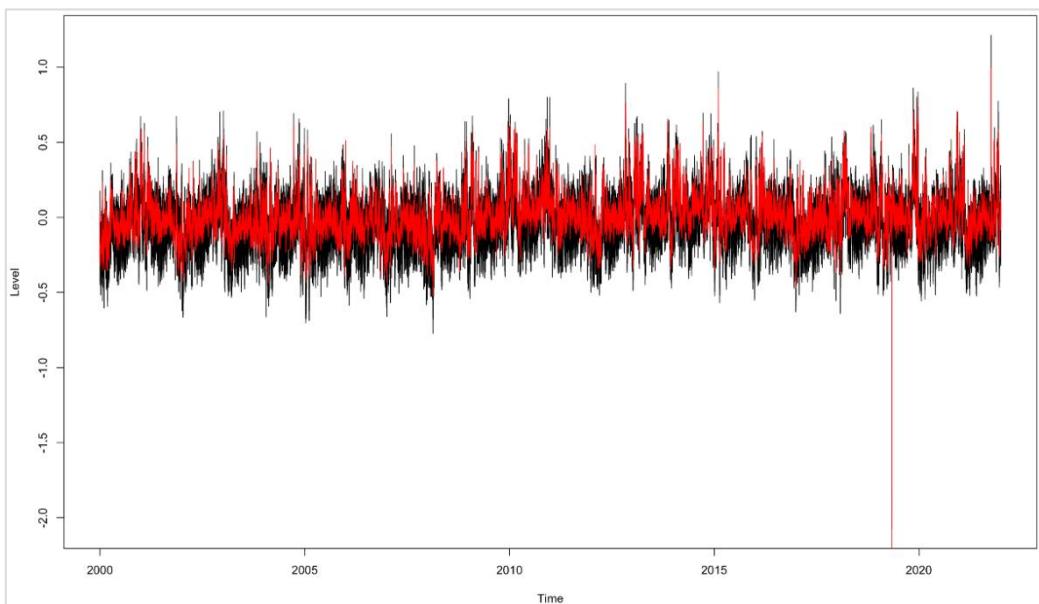
Da un punto di vista fisico, queste variabili sono le più influenti e significative sul livello del mare. Per questo motivo, limitarsi a queste non comporterà alcuna distorsione statistica nello studio.

13.3 Attività svolta

La scelta della stazione da analizzare è ricaduta su Ancona per il suo ambiente protetto. Nella prima parte dello studio, sono state considerate le sue specificità, notando la minore fluttuazione del mare Adriatico e la sua direzione verso nord. I dati sono stati sottoposti a procedure di controllo e validazione. Un problema importante è stato quello di gestire i piccoli errori di misurazione dei sensori che raccolgono i dati. Per prima cosa sono stati trattati i valori mancanti. Considerata la forma dei dati, abbiamo utilizzato un'imputazione basata sulle serie temporali. In particolare, è stato applicato una media mobile ponderata esponenziale, dando maggior peso ai valori vicini a quello imputato. Successivamente, è stata condotta un'analisi dei valori estremi. È stata utilizzata la serie di massimi a blocchi per individuarli, adattandoli alla distribuzione generalizzata dei valori estremi. Quindi, sono stati trattati come valori mancanti.

Una volta terminata questa fase di pulizia dei dati, sono state avviate le prime analisi. In primo luogo, è stato eliminato dalle analisi l'effetto delle maree in modo tale da osservare l'effetto delle variabili meteorologiche al netto della distorsione creata dai fenomeni mareali. A questo scopo, è stato utilizzato il pacchetto *R TideHarmonics* per ottenere la serie residua. La serie dei residui è indicata in rosso nella Fig 13.1. Poi, concentrandosi sulla direzione del vento, variabile circolare, è stata trasformata in una variabile lineare, per combinarla con la velocità del vento. Questo ha permesso di riflettere l'ipotesi fisica che il vento dalla terraferma ha un impatto positivo sul livello del mare, mentre il vento dal mare ha un impatto negativo. Infine, sono state esplorate le prime correlazioni tra il livello del mare e le variabili meteorologiche, è stata svolta un'analisi multivariata e analizzato i risultati in linea con le conoscenze fisiche.

Fig 13.1 – Residui del livello del mare



Fonte: dati Linked ISPRA, RMN

Campo di studio: Livello del mare e misure meteorologiche presso la stazione di Ancona dal gennaio 2000 al 2022.

Nota informativa: La serie originale del livello del mare è indicata in nero e la serie residua (più il termine medio) è in rosso.

Dato l'obiettivo principale di modellare la risposta del livello del mare alle variabili meteorologiche, sono stati progressivamente sviluppati diversi modelli. Alla fine, è stato preso in considerazione un approccio *bayesiano*. In questo modo, siamo stati in grado di soddisfare le nostre ipotesi di modello, ma soprattutto di beneficiare delle nostre conoscenze geoscientifiche a priori integrandole nel modello. È stato costruito un "modello varstan" con il pacchetto *bayesforecast* di R. È stato costruito un *modello ARIMA* (Modello autoregressivo integrato a media mobile) per la stima *bayesiana* e abbiamo usato "*Stan*", un campione *Markov Chain Monte Carlo* (MCMC) per l'inferenza *bayesiana* completa. La MCMC è essenziale per il calcolo di tali modelli gerarchici. Nel nostro caso, abbiamo utilizzato l'algoritmo *Hamiltonian Monte Carlo*. L'interesse maggiore nello svolgere un'inferenza *bayesiana* risiede nella possibilità di utilizzare informazioni preliminari. Abbiamo utilizzato le nostre conoscenze fisiche, combinandole con le deduzioni dell'analisi multivariata, per costruire un modello più solido. Questo ha permesso soprattutto di garantire la convergenza delle nostre stime. Il modello ottenuto risulta ben funzionante e soddisfa tutte le ipotesi.

13.4 Conclusioni

Sulla base delle analisi svolte sui dati raccolti nel periodo tra gennaio 2000 e gennaio 2022 dalla stazione meteorologica di Ancona, possiamo concludere che la pressione

atmosferica ha l'influenza più significativa sul livello del mare: una diminuzione di 1hPa della pressione atmosferica porta a un aumento di circa 1,18 cm del livello del mare. Per quanto riguarda il vento, quello proveniente dalla terraferma ha una correlazione positiva maggiore con il livello del mare rispetto al vento proveniente dal mare stesso. Questo spiega il nostro coefficiente negativo sul livello del mare. Infine, la temperatura dell'aria ha un impatto positivo, riproducendo l'effetto globale del suo aumento su scala locale, ma con un coefficiente debole, giocando un ruolo minore su scala locale. I valori dei coefficienti dei regressori del modello *varstan* sono riportati in Tab 13.1.

Questi risultati sono in linea con l'analisi fisica e sono quindi soddisfacenti. Tuttavia, dato che i risultati si basano su dati provenienti dalla stazione di Ancona, ci si può chiedere se essi siano generalizzabili. Per testare la loro validità esterna, è stata scelta un'altra stazione con caratteristiche molto diverse: Livorno (un porto direttamente aperto sul Mar Tirreno e un vento mediamente più forte). I risultati ottenuti dal modello a partire dai dati della stazione di Livorno confermano quelli ottenuti dalle stime basate su dati provenienti dalla stazione di Ancona.

Questa buona generalizzabilità potrebbe essere un punto di partenza, anzi si potrebbe effettuare un'analisi regionale studiando gli effetti degli eventi meteorologici per altre stazioni in tutta Italia. È stata anche esplorata la precisione delle stime. Anche se l'obiettivo era puramente descrittivo, questo è un comportamento importante per un modello. Abbiamo calcolato un errore quadratico medio e un punteggio di intervallo. Entrambi sono risultati abbastanza piccoli da attestare l'efficienza del nostro modello. Successivamente, un'idea potrebbe essere quella di proseguire il nostro studio verso la previsione.

Tab 13.1 – Coefficienti dei regressori del nostro modello *varstan*

Pressione atmosferica	Temperatura dell'aria	Velocità del vento x Direzione lineare
Coefficienti	-11.8e-03	0.2e-03

Fonte: dati Linked ISPRA, RMN

Campo di studio: Livello del mare e misure meteorologiche presso la stazione di Ancona dal gennaio 2000 al 2022.

Nota informativa: Una diminuzione della pressione atmosferica di 1 hPa corrisponde a un aumento di circa 1,18 cm del livello del mare.

13.5 Bibliografia e Sitografia

P. Hogarth, C.W. Hughes, S.D.P. Williams, M. Oppenheimer, B. C. Glavovic, J. Hinkel, R. Van De Wal, A. K. Magnan, A. Abd-Elgawad, R. Cai, M. Cifuentes-Jara, R. M. DeConto, T. Ghosh, J. Hay, F. Isla, B. Marzeion, B. Meyssignac, Z. Sebesvari | *Intergovernmental Panel on Climate Change (2019) - Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate - Chapter 4: Sea Level Rise and Implications for Low-Lying Islands*,

Coasts and Communities. <https://www.ipcc.ch/srocc/chapter/chapter-4-sea-level-rise-and-implications-for-low-lying-islands-coasts-and-communities/>

Ing. Devis Canesso, Dott. Marco Cordella, Ing. Giovanni Arena | ISPRA (2012) - *Manuale di mareografia e linee guida per i processi di validazione dei dati mareografici.* https://development.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/manuali-e-linee-guida/files/Manuali_elinee_guida_77_12.pdf

A. G. Stephenson (2016) - *Harmonic Analysis of Tides Using TideHarmonics.* <https://CRAN.R-project.org/package=TideHarmonics>

Maria Oliveira, Rosa M. Crujeiras, Alberto Rodriguez-Casal | *Journal of Statistical Software, volume 61 (9), pages 1-26 (2014)* - *NPCirc: An R Package for Nonparametric Circular Methods.* <http://www.jstatsoft.org/v61/i09/>

Valérie Monbet, Pierre Ailliot, M. Prevosto | *Probabilistic Engineering Mechanics (2007) - Survey of stochastic models for wind and sea state time series.* https://perso.univ-rennes1.fr/valerie.monbet/doc/papiers_pdf/monbet_ailliot_prevosto07.pdf

Betancourt, Michael; Girolami, Mark (2015). "Hamiltonian Monte Carlo for Hierarchical Models". In Upadhyay, Satyanshu Kumar; et al. (eds.). Current Trends in Bayesian Methodology with Applications. CRC Press. pp. 79–101. ISBN 978-1-4822-3511-1.

I. Alonzo, C. Cruz | University, ARXIV Preprint (2020) - *varstan: An R Package for Bayesian time series models with Stan.* <https://arxiv.org/abs/2005.10361>

Marceau Michel, Said Obakrim, Nicolas Raillard, Pierre Ailliot, and Valérie Monbet | ASCMO (2022) - *Deep learning for statistical downscaling of sea states.* <https://ascmo.copernicus.org/articles/8/83/2022/ascmo-8-83-2022.pdf>

Lo studio è stato condotto interamente su R. È possibile trovare e riprodurre tutte le nostre analisi al seguente link GitLab: https://gitlab.com/G_ael/sea-level.git

14. Analisi dei *trend* dei principali parametri fisici per la costruzione di indicatori di cambiamento climatico”

A cura di Lorena **Ricciotti**, studentessa di Management and Finance, Libera Università Ss. Maria Assunta; Marco **Picone**, tutor ISPRA, Rea per il monitoraggio dello stato fisico del mare e per la climatologia marina - Centro nazionale per la caratterizzazione ambientale e la protezione della fascia costiera, la climatologia marina e l'oceanografia operativa

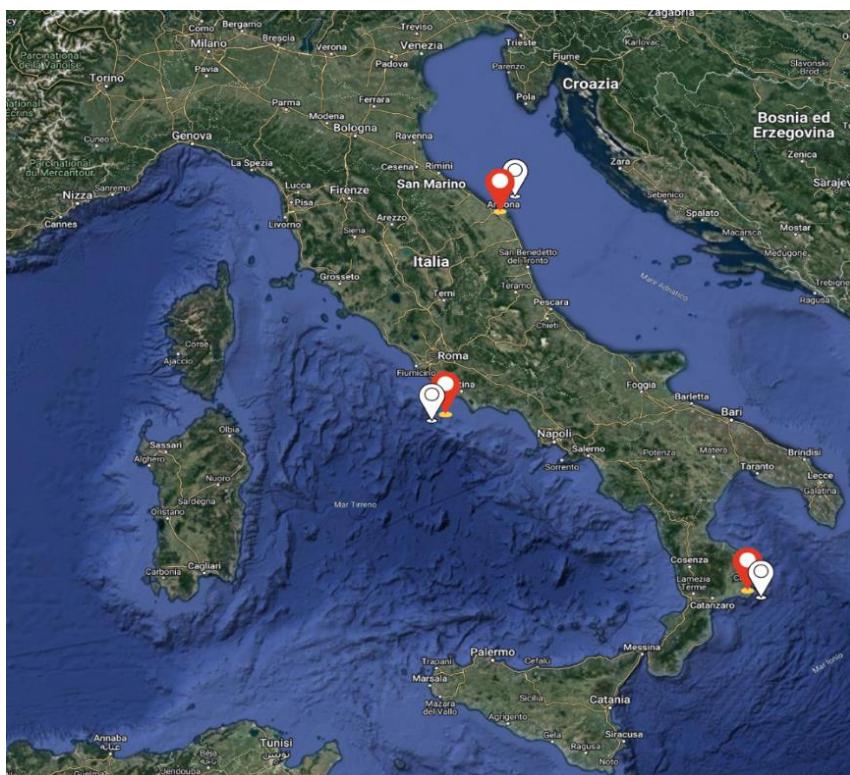
14.1 Introduzione

Il lavoro di ricerca condotto presso l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), sede di Roma, è stato incentrato sull'analisi di dati meteo-marini per l'identificazione di anomalie e fenomeni legati ai cambiamenti climatici.

Quando si discute dell'impatto dei cambiamenti climatici sull'ambiente, è fondamentale monitorare i parametri fisici marini come indicatori chiave. In questo contesto, ci siamo concentrati su due variabili: le maree meteorologiche (o residui) e l'altezza significativa delle onde, con l'obiettivo di quantificare l'impatto della pressione atmosferica, del vento e del *fetch* effettivo sul valore atteso di questi risultati. Il ruolo cruciale di queste variabili è ampiamente riconosciuto nella letteratura (Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici, Dipartimento Tutela Acque Interne e Marine, Servizio Mareografico). La pressione atmosferica gioca un ruolo primario, con una bassa pressione che porta a livelli del mare elevati e viceversa. La velocità e la direzione del vento, così come il *fetch*, sono strettamente interconnessi: la velocità del vento può aumentare o diminuire l'altezza delle onde a seconda della sua direzione, quest'ultima legata al *fetch*, ovvero l'estensione del mare aperto su cui soffia il vento, determinando la generazione delle onde. Un *fetch* maggiore consente al vento di agire su una superficie marina più ampia, risultando in onde più alte.

La ricerca svolta è stata basata su dati raccolti da tre stazioni italiane — Ancona, Crotone e Ponza (Fig 14.1) - nell'arco di un anno (dal 1° Gennaio 2021 al 9 Marzo 2022). In particolare, i dati che riguardano parametri fisici marini sono stati raccolti tramite diversi strumenti; nello specifico, in Italia, è presente una rete di monitoraggio che ricopre l'intera penisola. La rete è costituita da due sistemi diversi per la collezione dei dati: la Rete Mareografica Nazionale (RMN) e la Rete Ondametrica Nazionale (RON), entrambe gestite dall' ISPRA.

Fig 14.1 – Mappa stazioni mareografiche e ondametriche (Ancona – Crotone – Ponza)



Fonte: elaborazione a cura di L. Ricciotti

Nello specifico, la Rete Mareografica Nazionale ha l'obiettivo di rilevare dati di marea e conta 36 stazioni mareografiche situate vicino ai porti che raccolgono dati ogni 10 minuti.

La Rete Ondametrica Nazionale raccoglie, invece, dati di onda tramite boe direzionali collocate in mare aperto. Queste registrano e trasmettono dati con una frequenza di 30 minuti. Ad oggi, la Rete conta 15 boe situate a: Alghero, Ancona, Cagliari, Catania, Cetraro, Civitavecchia, Crotone, La Spezia, Mazara del Vallo, Monopoli, Ortona, Palermo, Ponza, Siniscola e Venezia.

Le variabili che sono state raccolte sono diverse: dai mareografi sono state ottenute le informazioni sull'altezza della marea, mentre dalle boe sono stati collezionati i dati dell'altezza significativa d'onda, direzione e velocità del vento e pressione atmosferica. Inoltre, è stata aggiunta la variabile del *fetch*.

Per svolgere l'analisi, è stato utilizzato un modello statistico additivo, in particolare è stato implementato un *Generalized Additive Model for Location Scale and Shape* (*GAMLSS*). Questi modelli avanzati permettono di analizzare dati complessi come quelli marini, superando i limiti dei modelli tradizionali come i modelli generalizzati

lineari. Per svolgere l'analisi inoltre sono state impiegate distribuzioni specifiche — Normale, *t di Student*, *Weibull* e *log-normale* — per affrontare le caratteristiche peculiari dei dati raccolti e facilitare l'identificazione di pattern climatici significativi. L'analisi è proseguita con un'esplorazione del clustering dei dati, in particolare attraverso modelli basati su misture finite, per distinguere tra fenomeni meteorologici differenti. A supporto della selezione del miglior modello, sono stati utilizzati criteri informativi, tra cui il Criterio di Informazione di Akaike (AIC), il Criterio di Informazione Bayesiano (BIC) e la Verosimiglianza Completa Integrata (ICL).

14.2 Obiettivi

Lo studio ha avuto come principali obiettivi l'identificazione di anomalie meteo-marine, come onde insolite in condizioni meteorologiche atipiche, e la classificazione dei livelli del mare in base a variabili meteorologiche quali la velocità e la direzione del vento e la pressione atmosferica. Questo obiettivo generale si è suddiviso in diversi sotto-obiettivi: l'analisi delle dinamiche marine attraverso modelli statistici, la validazione di metodi di clustering per individuare gruppi di dati anomali e l'identificazione dei modelli migliori utilizzando indicatori statistici (AIC, BIC, ICL). Questi obiettivi sono serviti a migliorare la comprensione dei cambiamenti climatici e dei loro effetti sulle coste italiane, oltre che a valutare l'efficacia di strumenti analitici predittivi per eventi estremi.

14.3 Attività svolta

In primo luogo, sono state studiate le dinamiche meteo-marine che influenzano gli stati di mare. Questi ultimi sono caratterizzati da: onde, maree, correnti, mareggiate e tsunami. Ai fini della nostra analisi, sono state considerate come variabili risposta le onde e le maree. In particolare, è stata presa in considerazione l'"altezza significativa d'onda", la quale è definita come l'altezza media di un terzo delle onde più alte registrate. Le maree, invece, presentano due fasi: alta e bassa marea e possono essere classificate in base alla loro frequenza:

- maree diurne: è possibile osservare un'alta marea ed una bassa marea in un giorno;
- maree semi-diurne: è possibile osservare due alte maree e due basse maree con ampiezze molto simili in un giorno;
- maree miste: è possibile osservare due alte maree e due basse maree ma con ampiezze differenti durante il giorno.

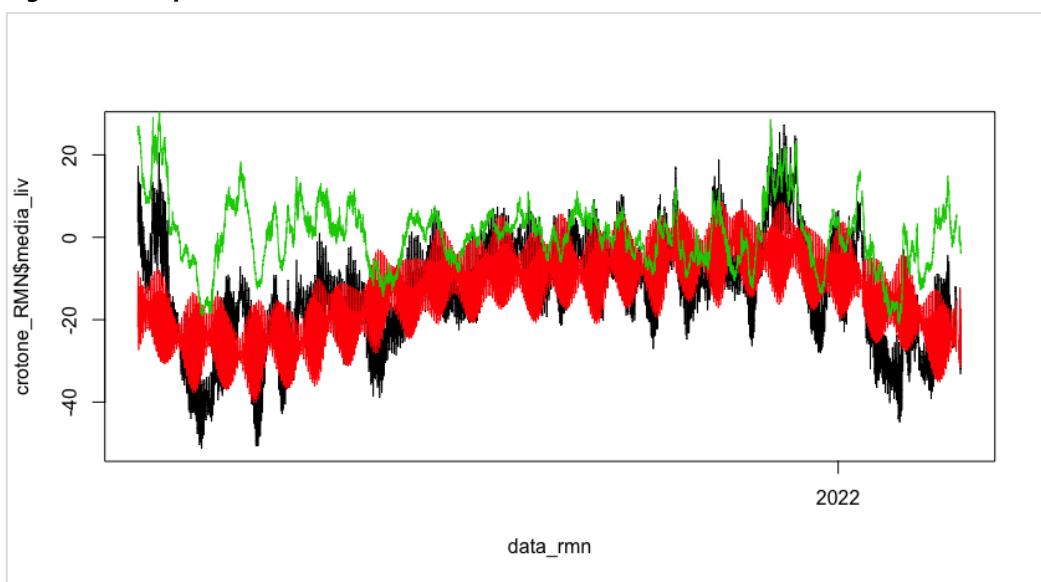
Inoltre, le maree sono influenzate da due componenti, una astronomica e una meteorologica. La prima è data dalla combinazione della forza gravitazionale Terra-Sole e dalla forza centrifuga data dalla rotazione del sistema Terra-Luna. La componente meteorologica, invece, rappresenta l'influenza dei fattori meteorologici come la pressione atmosferica sulla marea.

Ai fini dell'analisi statistica è stato utilizzato il programma R Studio. I dati raccolti dalle stazioni sono stati aggregati a livello orario risultando in un *dataset* di 9635 osservazioni.

Per capire il comportamento del mare di riferimento delle stazioni mareografiche e ondometriche prese in considerazione, abbiamo deciso di analizzare la relazione tra onde e maree meteorologiche.

Come sudetto, le maree sono influenzate da due fattori. Per separare l'effetto di queste due componenti è possibile utilizzare il pacchetto R "Tide Harmonics"; quest'ultimo permette di effettuare l'analisi armonica delle maree. Da quest'analisi è stato ricavato il livello residuo delle maree dato dalla differenza tra il livello di marea osservato e la componente astronomica. Il risultato ottenuto da questa differenza rappresenta l'effetto delle componenti meteorologiche sui livelli di marea.

Fig 14.2 – Componenti marea



Fonte: elaborazione a cura di L. Ricciotti

La Fig 14.2 mostra una chiara rappresentazione delle due componenti. La linea nera rappresenta i valori registrati dalla stazione mareografica, la linea rossa rappresenta i valori della marea astronomica stimati e la linea verde rappresenta i residui dati dall'azione degli agenti atmosferici sulla marea.

Osservando il grafico è possibile notare che all'inizio del periodo i valori della componente residua sono molto alti, ciò implica che la componente meteorologica ha avuto un impatto importante sulla marea osservata.

In particolare, la pressione atmosferica presenta una relazione inversa con i livelli dei residui di marea. Una bassa pressione atmosferica implica una minore forza esercitata sulla superficie risultando quindi in un livello di mare più alto. Al contrario, l'alta

pressione indica una maggiore pressione esercitata sulla superficie che abbassa il livello di marea. Tuttavia, la pressione atmosferica non è l'unico agente atmosferico ad agire sui livelli di marea, anche il vento ha degli effetti su di essa. Per quanto riguarda il vento vengono presi in considerazione sia la direzione che la velocità. In particolare, la direzione del vento è stata considerata nelle sue componenti di "seno" e "coseno".

L'analisi statistica mira a classificare le condizioni meteorologiche che influenzano gli stati di mare dati dal livello di marea e dalle onde. Per ottenere i cluster è stato applicato un *Generalized Linear Model for Location Scale and Shape* (GAMLSS).

La funzione modellata è :

$$\text{waves} + \text{residuals} \sim \text{air pressure} + WS \cos \beta + WS \sin \beta.$$

In particolare, l'analisi è stata svolta utilizzando tre distribuzioni diverse (*Normale*, *t di Student*, *Weibull* e *Log-Normale*) considerando da 2 a 5 componenti.

Al fine di paragonare e scegliere il modello migliore sono stati utilizzati dei criteri di selezione tra cui il criterio di informazione di Akaike (AIC), il criterio di informazione (Morucci, Picone, Nardone, & Arena, 2016) bayesiano (BIC) e il criterio dell'*Integrated Complete Likelihood* (ICL). I primi due criteri di selezioni suggeriscono come migliore il modello con distribuzioni *Log-Normale* a 5 componenti, mentre l'ICL considera come migliore il modello con distribuzione Normale a 2 componenti, questo perché l'ICL penalizza per cluster che si sovrappongono. Il modello più complesso con 5 componenti divide gli effetti di ogni covariata, mentre il modello più semplice con 2 componenti cattura l'effetto complessivo degli agenti atmosferici sugli stati di mare ed è di più facile interpretazione.

14.4 Conclusioni

Nell'analisi svolta, l'uso di GAMLSS ha permesso di suddividere i diversi effetti che le componenti meteorologiche hanno sulla superficie del mare.

Una volta identificati e analizzati, questi effetti possono essere associati a diversi modelli statistici, che li raggruppano in base ai loro impatti. Questo approccio facilita la comprensione se le condizioni che possono causare l'aumento del livello del mare sono normali o meno. Infatti, è stato osservato che a volte si verificano maree eccezionali in condizioni meteorologiche sfavorevoli o durante periodi dell'anno in cui dovrebbero essere rare, come l'estate.

Valori elevati dei livelli del mare sono registrati anche in condizioni meteorologiche insolite, cioè quando la pressione atmosferica è alta e il vento non è molto forte. Ad esempio, analizzando i grafici di Crotone che rappresentano la pressione atmosferica, la velocità del vento e i residui meteorologici delle maree, è possibile identificare una marea estiva registrata con velocità del vento e pressione atmosferica non molto

elevate. Tuttavia, tali eventi non possono essere direttamente collegati al cambiamento climatico.

Dal punto di vista statistico, sia i modelli a due componenti che a cinque componenti si sono dimostrati efficaci nel rappresentare le dinamiche osservate. Il modello a due componenti ha evidenziato in modo diretto gli effetti della pressione atmosferica, della velocità e della direzione del vento sui livelli del mare, consentendo di cogliere le influenze principali. Il modello a cinque componenti, invece, ha permesso una segmentazione più dettagliata, distinguendo tra i vari comportamenti del mare in risposta a specifiche condizioni meteorologiche. Tale approccio multifattoriale si è rivelato prezioso non solo per caratterizzare meglio i dati marini raccolti, ma anche per individuare *pattern* ricorrenti e anomalie, con applicazioni potenziali su altri dataset ambientali e climatici.

Questi modelli possono rappresentare un riferimento utile per sviluppare strumenti di monitoraggio e analisi predittiva che contribuiscano alla protezione delle coste e alla prevenzione degli effetti di eventi climatici estremi.

Sebbene non siano state individuate correlazioni dirette con i cambiamenti climatici, la ricerca suggerisce la necessità di proseguire con studi approfonditi per distinguere tra eventi naturali e tendenze legate al riscaldamento globale.

Investire in metodologie avanzate di analisi statistica diventa, quindi, cruciale per costruire una conoscenza solida e dettagliata del comportamento marino, supportando politiche di gestione ambientale che siano mirate e resilienti di fronte a un clima sempre più mutevole.

14.5 Bibliografia e Sitografia

Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici, Dipartimento Tutela Acque Interne e Marine, Servizio Mareografico. (s.d.). *Atlante delle onde nei mari italiani - Italian waves atlas*

Akaike, H. (2011). *Akaike's information criterion*. International encyclopedia of statistical science, 25

Ding, J., Tarokh, V., & Yang, Y. (2018). *Model Selection Techniques - An Overview*. IEEE Signal Processing Magazine, 16-34

McLachlan, G., Sharon, X., & Suren , I. (2019). *Finite mixture models*. Annual review of statistics and its application, 355-378.

Morucci, S., Picone, M., Nardone , G., & Arena, G. (2016). *Tides and waves in the Central Mediterranean Sea*. Journal of Operational Oceanography.

Rigby, R. A., & Stasinopoulos, D. (2005). *Generalized additive models for location scale and shape*. Journal of the Royal Statistical Society Series C: Applied Statistics , 507-554.

RStudio Team. (2020). *RStudio: Integrated Development for R*. Boston, MA. Tratto da <http://www.rstudio.com/> .

Stephenson, A. (2016). *Harmonic Analysis of Tides Using TideHarmonics*. Tratto da <https://CRAN.R-project.org/package=TideHarmonics>

15. Il successo riproduttivo di una popolazione di berta minore *Puffinus yelkouan* (Uccelli, Procellariformi), nidificante a Montecristo (Parco Nazionale dell'Arcipelago Toscano) e salvata dalla predazione da ratto nero *Rattus rattus*"

A cura di Andrea **Rigenerato**, studente di Scienze naturali, Alma Mater Studiorum Università di Bologna; Mario **Cozzo**, tutor ISPRA, Area per l'epidemiologia, l'ecologia e la gestione della fauna stanziale e degli habitat – Servizio per il coordinamento delle attività della fauna selvatica

15.1 Introduzione

La berta minore (Fig 15.1) *Puffinus yelkouan* (Acerbi, 1827) è un uccello marino, endemico del Mar Mediterraneo centrale e orientale. Si riproduce in colonie, occupando cavità a profondità variabile in pareti rocciose a picco sul mare, lungo le coste e sulle isole che raggiunge solo di notte. Da fine ottobre inizia a frequentare i

Fig 15.1 - Berta minore *Puffinus yelkouan*. Foto C. Gotti



siti riproduttivi e a metà marzo depone l'unico uovo dell'anno che verrà covato alternativamente da entrambi i partner che si daranno il cambio unicamente durante le ore notturne. Alla schiusa dell'uovo dopo circa 51 giorni di cova, ambedue i genitori inizieranno l'allevamento del pulcino. Dopo 60-68 giorni di allevamento, la giovane berta si involerà. È una specie longeva e raggiunge la maturità sessuale dopo 6 anni. Possiedono una spiccata fedeltà al sito riproduttivo così anche tra i membri della coppia. Tra una stagione riproduttiva e l'altra, le berte minori si

disperdono nella porzione orientale del Mediterraneo e nel Mar Nero. La specie è inserita nell'allegato II del Protocollo SPA/BIO della Convenzione di Barcellona, nell'allegato II della Convenzione di Berna, nell'allegato I della Direttiva Uccelli. Stato di conservazione *Vulnerable*, secondo i parametri IUCN. Pressioni e minacce sono il sovrasfruttamento della pesca, le catture accidentali durante le attività di pesca, predazione di uova e pulcini da parte di ratto nero *Rattus rattus* e gatti rinselvatichiti.

15.1.1 L'isola di Montecristo e la berta minore

Riserva Naturale Statale con D.M. del 1971 e Riserva Naturale Biogenetica diplomata dal Consiglio d'Europa nel 1988, l'Isola di Montecristo (Figg 15.2 e 15.3) è presidiata dal Reparto Carabinieri Biodiversità di Follonica e fa parte del Parco Nazionale Arcipelago Toscano, della Riserva della Biosfera "Isole di Toscana" nell'ambito del Programma MAB dell'UNESCO, e rientra nel Santuario Internazionale per la protezione dei Mammiferi Marini Pelagos.

L'isola è una grande complesso granitico di 10,4 kmq e raggiunge i 645 m di altezza sul mare. Dista circa 30 miglia nautiche dall'isola del Giglio. È ricoperta da una scarsa vegetazione di tipo mediterraneo.

Fig 15.2 - Panoramica aerea dell'Isola di Montecristo (da Spagnesi et al. 1986)



Fig 15.3 - Isola di Montecristo. Foto M. Cozzo



Su Montecristo nidificano circa 600 coppie di berta minore e in Cala Maestra, l'unico punto di approdo dell'isola, sono concentrate le azioni di monitoraggio della colonia. Nel 2012, grazie al Progetto LIFE + "Montecristo 2010", è avvenuta l'eradicazione del ratto *Rattus rattus* dall'isola: questo intervento ha consentito un considerevole aumento dei giovani involati ogni anno, numeri che erano pressoché nulli durante la presenza del ratto sull'isola, riconosciuto predatore di uova e pulli di uccelli marini a livello mondiale.

15.1.2 Il successo riproduttivo

Al fine di poter confrontare e visualizzare le variazioni degli esiti riproduttivi di una specie tra anni diversi oppure tra colonie distanti fra loro e poter formulare ipotesi sui motivi delle variazioni possono essere definiti diversi indici. L'indicatore più spesso usato è il successo riproduttivo, definito come rapporto tra il numero di giovani involati/prossimi all'involto e numero di nidi osservati con uovo deposto e/o adulto in cova durante la prima visita alla colonia.

Successo Riproduttivo = numero giovani involati/ numero nidi con uovo.

15.2 Obiettivi

L'obiettivo dell'attività formativa è stata quella di consentire al tirocinante di imparare ad ottenere i dati necessari al calcolo del successo riproduttivo annuale delle berte minori, nidificanti sull'isola di Montecristo, azione ripetuta annualmente dal gruppo ISPRA dell'Area. Occorre essere in grado di riconoscere le tracce di occupazione di un nido, osservarne il contenuto e compilare correttamente le schede di campo.

15.3 Attività svolta

Le attività formative hanno riguardato i seguenti macro-argomenti:

- acquisizione informazioni sulla specie;
- ricerca bibliografica anche presso la Biblioteca ISPRA di Ozzano;
- missioni lavorative sull'Isola di Montecristo;
- informatizzazione dei dati;
- osservazione e studio dei reperti conservati nel Museo Zoologico;
- analisi dati demografici;
- gestione database nazionale berte minori;
- visualizzazione dati di telemetria.

Il tirocinante è stato impegnato, quindi, nell'inquadrare gli aspetti caratteristici della biologia riproduttiva delle berte, le minacce che incontrano attraverso la consultazione di testi monografici e generali (vedi bibliografia) presso la Biblioteca ISPRA e visionando i reperti tassidermici conservati presso il Museo Zoologico di ISPRA. Durante le due uscite su campo presso l'Isola di Montecristo, insieme al gruppo di ricerca, ha partecipato alle attività di raccolta dei dati riproduttivi approfondendo la conoscenza della specie.

La prima uscita (Fig. 15.4), avvenuta nella prima metà di aprile, ha avuto lo scopo di visualizzare il contenuto dei nidi naturali già conosciuti e in quelli artificiali installati nel 2012, inoltre si è provveduto alla ricerca di eventuali nuovi nidi annotandone il contenuto: la presenza dell'uovo deposto o la presenza dell'adulto in cova in orario diurno.

Fig 15.4 - Localizzazione colonia principale di berta minore in Cala Maestra. Foto M. Cozzo



La seconda uscita è stata effettuata a luglio quando i giovani nati erano prossimi all'involo (Fig 15.5).

Fig - 15.5 - Da sinistra: adulto in cova (a), uovo (b) e pulcino (c) di berta minore all'interno di un nido: nell'ultima foto si può notare in basso parte del piumino che il pullo sta perdendo prima di arrivare al momento dell'involo. Foto M. Cozzo



Le attività del tirocinio si sono sviluppate all'interno dello svolgimento della Convenzione stipulata da ISPRA nel 2022 denominata "Terra e mare, in volo tra i Parchi" condotta dall'Ente Parco Arcipelago Toscano (PNAT) insieme ad altri sei parchi nazionali (Parco dell'Arcipelago di La Maddalena, dell'Isola di Pantelleria, del Circeo, dell'Asinara, del Vesuvio e delle Cinque Terre) e finalizzata a capitalizzare i risultati conseguiti nel corso di precedenti progetti, standardizzare i protocolli d'indagine e migliorare lo stato di conservazione delle popolazioni degli uccelli marini, delle specie legate agli ambienti costieri e dei rapaci, sia nidificanti che migratori. La Convenzione si inserisce nella collaborazione strategica a lungo termine tra ISPRA e PNAT (Parco Nazionale dell'Arcipelago Toscano) finalizzata a garantire continuità ai progetti di ricerca e a potenziare gli obiettivi di salvaguardia degli uccelli marini e dell'avifauna insulare nidificante per il monitoraggio dell'avifauna nidificante nel PNAT.

Alcuni individui di berta minore sono stati dotati di GPS (Fig 15.6) in grado di trasmettere la propria posizione durante i loro viaggi di alimentazione in mare, permettendo di raccogliere preziose informazioni sul comportamento e le aree frequentate dalla specie: è stata quindi una ulteriore occasione per il tirocinante di

Fig 15.6 - Berta minore *Puffinus yelkouan* in una cassetta nido e con GPS applicato sul dorso. Foto M. Cozzo



addentrarsi nelle attività di ricerca del gruppo di lavoro di cui ha fatto parte durante il percorso formativo (Fig 15.7).

Fig 15.7 - Un momento durante le operazioni di applicazione del GPS ad una berta minore. Foto M. Cozzo



Fig 15.8 – Ricerca e osservazione dei raft.
Foto M. Cozzo

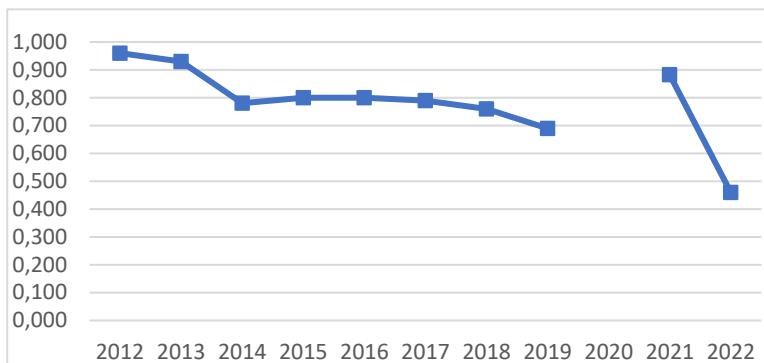


Le berte, nei momenti che precedono il calar del sole, sono solite riunirsi in assembramenti chiamati "raft", rimanendovi fino a quando, a buio completo, voleranno per raggiungere il proprio nido a terra. In questa maniera è possibile contare gli individui in mare per stimare il numero degli individui della colonia (Fig 15.8).

15.4 Conclusioni

Il successo riproduttivo così visualizzato in Tab 15.1 evidenzia un calo via via maggiore a partire dai primi alti valori post-eradicazione dei ratti dall'isola di Montecristo del 2012. Per gli uccelli marini come la berta minore, i pericoli che minacciano il suo stato di conservazione non sono solo legati alla predazione da specie terrestri nei siti riproduttivi, ma anche agli impatti che le attività umane provocano: il fenomeno del *bycatch*, ovvero la cattura accidentale degli individui da parte delle strumentazioni usate durante le attività di pesca (reti, palamiti, lenze e ami) agisce pesantemente sulla sopravvivenza degli individui durante la loro attività di ricerca del cibo.

Tab 15.1 – Successo riproduttivo delle berte minori a Montecristo 2012-2022 (2020 anno del Covid-19)



Fonte: dati ISPRA - BIO-EPD, Parco Nazionale Arcipelago Toscano

Nel contesto italiano non si ha ancora conoscenza delle dimensioni di tale impatto, ma le attività di ricerca, come la conoscenza degli spostamenti e delle aree frequentate dalla specie, stanno contribuendo a colmare tale mancanza di informazioni a fini di conservazione della specie.

15.5 Bibliografia e Sitografia

Brichetti P. & Fracasso G., 2003 Ornitologia Italiana. Vol. 1 – *Gaviidae-Falconidae*. Alberto Perdisa Editore, Bologna

Cramp S. et al 1977-1994. *Birds of the Western Palearctic*. Volls. 1-9. Oxford University Press. Oxford

Gotti C., Cozzo, M., De Faveri, A., Zenatello, M., Baccetti, N., Lazzaro, L., Ferretti, G. & Foggi, B. (2014). *The monitoring of flora and fauna on Montecristo*. In: Zanichelli, F., Giannini, F., De Pietro, F. & Puppo F. (eds.) I Quaderni del Parco, documenti tecnici n° 2 "Progetto LIFE+ "MONTECRISTO 2010, Eradicazione di componenti florofaunistiche aliene invasive e tutela di specie e habitat nell'Arcipelago Toscano": 54-69

Murray jr. B.G., *Measuring annual reproductive success in birds*. The Condor 102: 470-473

Robb M. & Mullarney K., 2008. *Petrels Night and Day: A Sound Approach Guide The Sound Approach*, High Street, Poole, Dorset BH12 1AB, United Kingdom. 300 pp

Spagnesi M., Cagnolaro L., Perco F., Scala C., 1986. *La Capra di Montecristo (Capra aegagrus hircus Linnaeus, 1758)*. Ricerche di Biologia della Selvaggina. Istituto Nazionale di Biologia della Selvaggina (I.N.B.S.). ora ISPRA

Zenatello M., Cozzo M., Gotti C., Baccetti N., in "Convenzione per il monitoraggio dell'avifauna nidificante nel PNAT - Relazione Finale", 2023

<https://www.parcoarcipelago.info/montecristo/>

16. Centro Nazionale dei Rifiuti e dell'Economia Circolare

A cura di Christian **Scutti**, studente di Scienze delle amministrazioni e delle politiche pubbliche, Sapienza Università di Roma; Silvia **Ermili**, tutor ISPRA, Area tematica gestione dei rifiuti e tecnologie - Centro Nazionale dei Rifiuti e dell'Economia Circolare

16.1 Introduzione

Il tirocinio curriculare svolto presso il Centro Nazionale dei Rifiuti e dell'Economia Circolare (CN-RIF) di ISPRA ha consentito allo studente di approfondire tematiche ambientali specifiche, quali quelle in materia di rifiuti, di economia circolare e di gestione sostenibile delle risorse, anche attraverso attività pratiche di analisi dei dati, elaborazione di documenti tecnici/*report* e valutazione delle risultanze dei controlli svolti sugli impianti di gestione dei rifiuti ai sensi dell'art. 206 bis del D. Lgs. 152/2006.

Le conoscenze acquisite, in particolare sulla Responsabilità Estesa del Produttore ai sensi della Direttiva Quadro sui rifiuti 2008/98/CE, come modificata dalla Direttiva (UE) 2018/851, compresi gli aggiornamenti delle nuove normative applicabili, si sono rivelate estremamente utili per l'elaborazione della tesi di laurea in Diritto dell'Ambiente, fornendo strumenti concettuali necessari per approfondire la tematica ed arricchire il proprio lavoro di ricerca.

16.2 Obiettivi

Il tirocinio ha avuto come obiettivo principale fornire una solida base di conoscenze circa la tematica dei rifiuti. Partendo dalle nozioni fondamentali, come la classificazione dei rifiuti, si sono volute analizzare le diverse fonti di produzione dei rifiuti, dedicando, poi, particolare attenzione alle attività di gestione, recupero e smaltimento. Un interesse specifico è stato rivolto al principio della Responsabilità Estesa del Produttore (EPR), un concetto chiave per responsabilizzare le aziende e per promuovere un'economia circolare.

Il percorso ha voluto, dunque, offrire una duplice opportunità formativa. In primo luogo, condividere con il tirocinante il *know-how* del Centro su importanti tematiche (es. monitoraggio dei dati di produzione e gestione dei rifiuti urbani e speciali). In secondo luogo, fornire una panoramica completa sulla struttura, l'organizzazione e le funzioni del Sistema Nazionale di Protezione dell'Ambiente (SNPA), con un *focus* sulle relazioni tra ISPRA e le Agenzie Regionali e Provinciali.

L'obiettivo è stato anche quello di approfondire i concetti chiave dell'"economia circolare", con particolare attenzione all'*End of Waste*, ovvero la cessazione della qualifica di rifiuto. Questo tema è stato affrontato sia a livello teorico, fornendo un quadro completo della normativa nazionale e internazionale di riferimento, sia a livello pratico, attraverso l'attività svolta in collaborazione con il *tutor*.

Data l'importanza cruciale dell'economia circolare ed in considerazione del ruolo attivo di ISPRA nelle Commissioni CT/057 'Economia circolare' di UNI (*Ente Italiano di Normazione*) e TC/323 'Circular Economy' di ISO (*International Organization for Standardization*), si è ritenuto fondamentale dover sviluppare le competenze sullo sviluppo delle normative tecniche nazionali e internazionali, dunque volontarie, con particolare attenzione all'attività di UNI e ISO.

Parallelamente è stata fornita allo studente una comprensione approfondita del sistema di certificazione e accreditamento, sia a livello nazionale che internazionale, analizzando il ruolo degli organismi coinvolti. Partendo dalla certificazione ISO 9001 ottenuta dal Centro per i processi di elaborazione di pareri sui rifiuti e predisposizione del Rapporto rifiuti urbani, il tirocinante ha avuto l'opportunità di esplorare il mondo degli organismi di accreditamento e certificazione, comprendendo le loro funzioni e la loro importanza nel garantire la qualità e l'affidabilità dei processi. Un'attenzione particolare è stata dedicata al ruolo di EA (*European Cooperation for Accreditation*), IAF (*International Accreditation Forum*) e ILAC (*International Laboratory Accreditation Cooperation*), organizzazioni chiave che operano a livello internazionale per armonizzare i sistemi di accreditamento e promuovere la fiducia reciproca tra i diversi paesi.

16.3 Attività svolta

La metodologia adottata per lo svolgimento del tirocinio ha comportato lezioni teoriche necessarie ad illustrare gli argomenti e modalità operative adottate ed il coinvolgimento pratico nelle attività del Centro, dunque attraverso l'affiancamento durante lo svolgimento delle specifiche attività quotidiane da parte della *tutor* ISPRA e sotto la sua supervisione.

Nel corso del tirocinio, particolare attenzione è stata dedicata alla classificazione dei rifiuti, un elemento fondamentale per una corretta gestione. Sono state approfondite le diverse fonti di produzione dei rifiuti, per comprendere meglio l'origine e la natura dei materiali che vengono gestiti. Un *focus* importante è stato posto sulle attività di gestione dei rifiuti, con un'analisi approfondita delle operazioni di recupero e smaltimento. Il tirocinante ha potuto apprendere le diverse tecniche e tecnologie utilizzate, nonché le implicazioni ambientali e normative connesse a ciascuna fase.

Infine, un approfondimento è stato dedicato al regime di Responsabilità Estesa del Produttore (EPR), utile per fornire un quadro dei principi fondamentali che lo regolano, delle diverse modalità di attuazione e del ruolo svolto dai diversi attori coinvolti.

L'intero percorso formativo è stato arricchito dall'analisi dettagliata della normativa nazionale ed internazionale di riferimento.

Nell'ambito delle attività di vigilanza e controllo in materia di gestione dei rifiuti di cui all'art. 206 bis, c. 4, del D. Lgs. 152/2006, svolte in attuazione di quanto previsto al

Modulo 1 punto 1 lett. b) della Convenzione triennale sottoscritta con il Ministero dell'Ambiente e Tutela del Territorio e del Mare (attualmente Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica – MASE), il tirocinante ha collaborato nella valutazione delle risultanze (verbali di sopralluogo/controllo) di sopralluoghi e controlli effettuati dalle Agenzie Regionali/Provinciali della Protezione Ambiente (ARPA/APPA) presso gli impianti di gestione dei rifiuti sui quali il Ministero ha ritenuto necessario porre l'attenzione. Per l'espletamento di tali attività, infatti, ISPRA ha stipulato specifici accordi con le ARPA/APPA attraverso una Convenzione triennale stipulata in data 25/07/2019.

Il programma dettagliato delle ispezioni della terza annualità della suddetta convenzione ha previsto l'esecuzione di attività ispettive su un campione di 404 impianti di gestione dei rifiuti presenti sul territorio nazionale, identificati sulla base della loro distribuzione territoriale e delle specifiche criticità rilevate sia a livello locale che dal Ministero. Si tratta di impianti di trattamento dei veicoli fuori uso, di trattamento dei RAEE (Rifiuti da Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche), quelli che effettuano operazioni di recupero in procedura semplificata ai sensi degli artt. 214 e 216 del D. Lgs. 152/2006 e s.m.i., gli impianti di recupero finalizzati alla cessazione della qualifica di rifiuto (*End of Waste*), in applicazione a quanto previsto dall'art. 184-ter del D. Lgs. 152/2006, ed infine gli impianti di trattamento della frazione organica.

Nel corso del tirocinio, lo studente ha affiancato il *tutor* nella predisposizione dei file excel riepilogativi dei controlli svolti dalle ARPA/APPA attraverso i quali ISPRA sintetizza alcune informazioni quali: il tipo di impianti sottoposti a controllo, la tipologia di rifiuti trattati e le operazioni di recupero/smaltimento effettuate, eventuali "non conformità" di carattere amministrativo e/o penale rilevate, unitamente al richiamo agli articoli sanzionatori ed alle prescrizioni al gestore ai fini dell'estinzione del reato, secondo quanto disposto dall'art. 318-ter della Parte VI-bis del D. Lgs. 152/2006 e s.m.i..

Attraverso l'attività svolta è stato possibile ottenere un quadro sufficientemente esaustivo della tipologia di anomalie riscontrate nelle diverse fattispecie di impianti a livello nazionale ampliando, così, le proprie conoscenze circa i regimi autorizzatori in generale, le prescrizioni normative/autorizzatorie cui sono soggetti gli impianti investigati, gli articoli sanzionatori richiamati a fronte delle violazioni amministrative e/o penali rilevate nel corso dei controlli.

Sono stati poi approfonditi gli aspetti legati alla disciplina dell'*End of Waste* e l'attività relativa ai procedimenti autorizzatori che ISPRA è chiamata a svolgere ai sensi dell'articolo 184-ter del D. Lgs n. 152 del 2006.

L'attività ha riguardato, in particolare, l'approfondimento della relativa normativa e la valutazione delle risultanze di alcuni dei controlli svolti da parte delle ARPA/APPA (comma 3-ter dell'art. 184-ter del D. Lgs. 152/2006) sugli impianti di recupero che, in mancanza dei criteri specifici adottati ai sensi del comma 2 dell'art. 184- ter del D.

Lgs. 152/2006, sono autorizzati alle operazioni di recupero secondo gli articoli 208, 209 e 211 e del titolo III-bis della Parte Seconda del medesimo decreto.

Parte dell'attività svolta nel corso del tirocinio si è concentrata sulla valutazione dei dati comunicati dai soggetti interessati ai sensi dell'art. 189, comma 3 del D. Lgs. 152/2006, con particolare riguardo ai rifiuti sanitari non pericolosi e pericolosi gestiti nell'anno 2020.

L'analisi ha riguardato la gestione dei rifiuti sanitari appartenenti al Capitolo EER 18* di cui all'allegato D della parte IV del D. Lgs. n.152/2006, e, nello specifico, i rifiuti sanitari pericolosi che devono essere raccolti e smaltiti applicando precauzioni particolari per evitare infezioni (EER 180103*).

Nella Tab 16.1 sono riportati i dati relativi ai quantitativi di rifiuti pericolosi e rifiuti che devono essere raccolti e smaltiti applicando precauzioni particolari per evitare infezioni (EER 180103*), trattati negli impianti di incenerimento e sterilizzazione nel biennio 2019 – 2020.

Tab 16.1 – Quantitativi di rifiuti sanitari pericolosi avviati ad incenerimento e sterilizzazione (tonnellate), anni 2019 - 2020

Tipologia di trattamento	Quantitativi rifiuti sanitari pericolosi trattati (tonnellate)		Variazione	Quantitativi 180103* trattati (tonnellate)		Variazione
	Anno 2019	Anno 2020		Anno 2019	Anno 2020	
Incenerimento	95.394	95.320	- 0,1%	89.774	90.389	0,7%
Sterilizzazione	75.002	81.041	8,1%	46.865	77.582	65,5%
Totale	170.396	176.361	3,5%	136.639	167.971	22,9%

Fonte: ISPRA

L'attività di valutazione dei dati sui rifiuti speciali è stata condotta attraverso l'analisi del database Access, il quale raccoglie le informazioni che i soggetti obbligati comunicano annualmente alle Camere di Commercio tramite il Modello di Dichiarazione Unica (MUD). Questo processo ha incluso anche la bonifica dei dati per garantirne l'accuratezza.

L'obiettivo principale di questa attività è stato quello di contribuire alla predisposizione del Rapporto Rifiuti Speciali (edizione 2022), documento pubblicato annualmente da ISPRA

Fig 16.1 – Rapporto rifiuti speciali



in ottemperanza a quanto Previsto dall'art. 189, comma 6 del D. Lgs. 152/2006 (Fig 16.1).

Il tirocinante ha, così, avuto modo di conoscere nella pratica quanto previsto dalla normativa al riguardo, le modalità adottate da ISPRA ai fini del controllo e dell'aggiornamento periodico dei dati riportati nel Catasto Nazionale dei Rifiuti e di approfondire l'attività che CN-RIF svolge per il controllo e la bonifica dei dati sulla gestione dei rifiuti trasmessi annualmente dai gestori.

Nell'ambito delle attività legate alla transizione verso l'economia circolare, lo studente ha approfondito lo sviluppo della normativa volontaria, sia a livello nazionale che internazionale, con un *focus* sulle modalità operative degli organismi di normazione UNI e ISO. In particolare, ha esaminato le attività delle Commissioni UNI CT/057 '*Economia Circolare*' e ISO TC/323 '*Circular Economy*', a cui ISPRA partecipa attivamente attraverso i suoi esperti.

Un'attenzione specifica è stata dedicata allo sviluppo delle norme ISO 59000, un insieme di *standard* volontari che guidano le organizzazioni nella transizione verso un modello di economia circolare. Il tirocinante ha avuto l'opportunità di partecipare, insieme alla *tutor* ISPRA, ad alcune riunioni del gruppo di lavoro UNI/CT 057/GL3, focalizzate sulla redazione della specifica tecnica UNI/TS 11820, documento pubblicato il 30 novembre 2022 che fornisce indicazioni dettagliate su come misurare e valutare le prestazioni di circolarità di un'organizzazione, consentendo di monitorare l'efficacia delle strategie adottate attraverso un set di indicatori specifici.

Infine, sono stati approfonditi i meccanismi di accreditamento e certificazione delle organizzazioni e i requisiti gestionali delle norme ISO 9001 e 14001. In particolare, è stato illustrato il Sistema di Gestione del Centro, le sue connessioni con il sistema qualità ISPRA, e le procedure sulla predisposizione di pareri tecnici in materia di rifiuti e Rapporto Rifiuti Urbani, con particolare attenzione a obiettivi, gestione documentale, non conformità e azioni correttive.

16.4 Conclusioni

Lo studente ha intrapreso il tirocinio presso il Centro Nazionale dei Rifiuti e dell'Economia Circolare motivato dal forte interesse per le tematiche legate alla gestione ambientale e dalla conoscenza acquisita durante il corso universitario di Diritto dell'ambiente.

Nel corso del periodo formativo, il tirocinante ha avuto la possibilità di osservare come le normative su rifiuti e sostenibilità vengono applicate concretamente. Questa immersione pratica ha permesso di comprendere appieno il funzionamento delle istituzioni competenti e il ruolo cruciale che ISPRA svolge nel panorama delle politiche ambientali nazionali. Il tirocinio ha costituito una risorsa preziosa per lo sviluppo del lavoro di tesi sulla Responsabilità Estesa del Produttore (EPR).

L'interazione diretta con gli esperti di ISPRA ha arricchito la comprensione dei meccanismi di implementazione dell'EPR in Italia, fornendo una visione aggiornata di normative e pratiche di gestione dei rifiuti.

L'osservazione diretta di casi concreti e dinamiche operative ha, dunque, arricchito le conoscenze teoriche acquisite durante gli studi universitari, fornendo spunti e materiali preziosi per una riflessione più approfondita sulle sfide e le opportunità offerte dal sistema dell'economia circolare in Italia.

16.5 Bibliografia

G. M. Ciaurro, *Manuale di diritto dell'ambiente*, Giuffrè Editore, 2021

ISPRA, *Rifiuti 2022: La gestione dei rifiuti in Italia, Rapporto Speciale 321/2022*.

Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 - Norme in materia ambientale. Gazzetta Ufficiale, Serie Generale n. 88 del 14 aprile 2006

Utilitalia, *Prontuario per la gestione dei rifiuti*, 2020

OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development), *The Circular Economy in the European Union: Overview of the Policies and Practices*, OECD, 2020

Giuseppe Salvi, *La responsabilità estesa del produttore (EPR): Normativa e applicazioni*, di Giuffrè Editore, 2020

Ref Ricerche, *Rifiuti- La responsabilità estesa del produttore (EPR): una riforma per favorire prevenzione e riciclo*, 2019

De Leonardis F., *I rifiuti: dallo smaltimento alla prevenzione*, in G. Rossi (a cura di), Diritto dell'ambiente, Giappichelli, Torino, 2011

17. Analisi del consumo di suolo dei comuni italiani e studio delle variazioni della temperatura in ambito urbano tramite dati satellitari

A cura di Alice Carlotta **Tani**, studentessa di Monitoraggio e Riqualificazione ambientale, Sapienza Università di Roma; Pasquale **Dichicco**, tutor ISPRA, Servizio per il sistema informativo nazionale ambientale

17.1 Introduzione

L'urbanizzazione ha profondamente trasformato il territorio, modificando l'uso e la copertura del suolo per soddisfare le esigenze umane.

Questo studio analizza il consumo di suolo in Italia dal 2006 al 2021, con una particolare attenzione alla sua relazione con le variazioni della temperatura della superficie terrestre (*Land Surface Temperature* - LST). Utilizzando dati satellitari liberamente accessibili e strumenti GIS (Sistema di informazioni geografico), si è valutato l'impatto delle trasformazioni del territorio (LULC - *Land Use and Land Cover*) sulla LST.

La comprensione di come il consumo di suolo e l'intervento dell'uomo influiscano sulle temperature in ambito urbano può fornire preziose indicazioni per orientare le strategie di pianificazione urbana, con l'obiettivo di mitigare gli effetti negativi dell'antropizzazione sul microclima locale.

17.2 Obiettivi

- *Analisi delle Variazioni LULC.* Condurre un'analisi approfondita delle variazioni nelle classi di uso e copertura del suolo (LULC) in Italia, secondo il sistema di classificazione ISPRA, nel periodo 2006-2021.

L'analisi si concentra in particolare sull'evoluzione delle superfici naturali in superfici antropizzate, con la distinzione tra le superfici consumate permanentemente e quelle antropizzate in modo reversibile.

Questo obiettivo include anche la collaborazione nella fase di costruzione della metodologia adottata per l'analisi "*Comune risparmia suolo*", parte del Rapporto ISPRA sul consumo di suolo, finalizzata a identificare i comuni più virtuosi nella gestione del consumo di suolo.

- *Valutazione dell'Efficienza dell'Uso del Suolo.* Indagare fino a che punto lo spazio abitativo urbano viene utilizzato in modo efficace o inefficiente, utilizzando gli indicatori di sostenibilità, *Sustainable Development Goal* - SDG 11.3.1 (rapporto tra tasso di consumo di suolo e tasso di crescita della popolazione; Nazioni Unite, 2021a) e SDG 15.3.1 (percentuale di territorio degradato sul totale della superficie terrestre; Nazioni Unite, 2021b), per valutare l'intensità del consumo di suolo.

L'indagine mira ad evidenziare come una pianificazione urbana informata possa mitigare l'impatto ambientale, promuovendo una gestione più sostenibile del territorio.

- *Relazione tra LULC e LST.* Esaminare l'effetto dei cambiamenti LULC sulla temperatura della superficie terrestre (LST), analizzando come la densità del suolo consumato e la copertura arborea influenzino le temperature.
Questo obiettivo si propone di evidenziare le differenze termiche tra tre tipologie di aree: rurali, suburbane e urbane densamente popolate, per comprendere meglio le dinamiche locali di consumo del suolo e le loro conseguenze ambientali.

17.3 Attività svolta

Le attività svolte durante il tirocinio si sono integrate nell'ambito del lavoro di monitoraggio del consumo di suolo condotto dal Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (SNPA), per l'anno 2021.

Utilizzando i dati SNPA, sono state condotte analisi a vari livelli amministrativi, dal nazionale fino al livello comunale. Una delle principali attività ha riguardato l'analisi dell'impatto dell'antropizzazione del territorio sulla temperatura superficiale. Questa analisi è stata effettuata in due fasi, la prima ha riguardato il calcolo della temperatura superficiale, su tutto il territorio nazionale, attraverso dati telerilevati; durante la seconda fase sono stati messi in relazione tra loro i dati sulla temperatura e le principali caratteristiche del territorio, approfondendo l'analisi a livello provinciale.

Per l'analisi delle temperature superficiali, è stata impiegata la piattaforma di calcolo *cloud Google Earth Engine*. Attraverso uno *script* personalizzato sviluppato in *JavaScript*, sono state elaborate le immagini satellitari MODIS-Terra relative alla temperatura superficiale terrestre (LST). L'analisi si è concentrata sui mesi estivi (giugno, luglio e agosto) dell'anno oggetto di studio, nonché dell'anno precedente e successivo, al fine di valutare le tendenze termiche in ambito urbano su un arco temporale triennale. Questo approccio ha permesso di esaminare le variazioni termiche stagionali e annuali, fornendo una prospettiva più ampia sulle dinamiche termiche urbane.

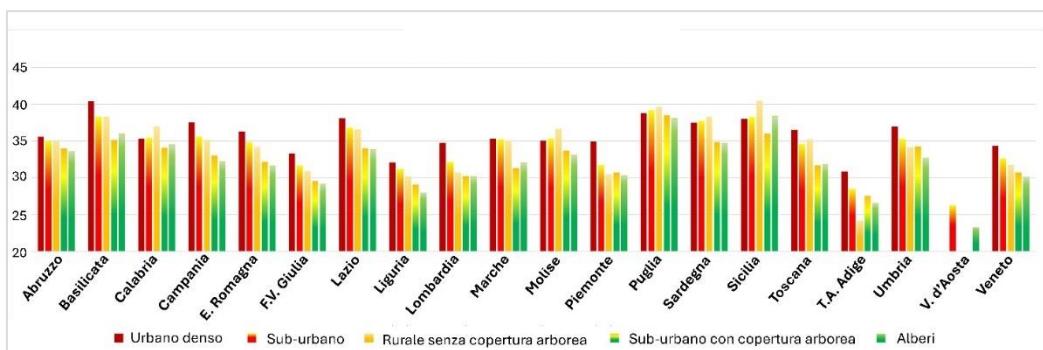
Per analizzare la relazione tra la temperatura superficiale e le caratteristiche del territorio, al fine di comprenderne le dinamiche, è stato sviluppato un modello iterativo progettato per applicare la metodologia a tutti i comuni italiani. Per la realizzazione di questo modello, è stata impiegata l'applicazione *Model Builder* integrata nel software *ArcGIS*. Questo approccio ha permesso di automatizzare l'analisi su larga scala, garantendo coerenza e riproducibilità nell'elaborazione dei dati per l'intero territorio nazionale.

La metodologia prevede:

- il calcolo della densità del suolo consumato, attraverso la carta del suolo consumato prodotta da SNPA, e la divisione del territorio nazionale in tre classi: rurale, sub-urbano e urbano denso;
- l'individuazione di tutte le aree con copertura arborea, attraverso l'utilizzo dei prodotti Copernicus CLMS - *Copernicus Land Monitoring Service*;
- la suddivisione del territorio nazionale in aree di pianura, collina e montagna, attraverso l'utilizzo del modello digitale del terreno (DEM) dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

Questi strati informativi sono stati combinati tra di loro e messi in relazione con il *layer* della LST. I risultati, aggregati a livello regionale sono rappresentati nella Fig 17.1.

Fig 17.1 – Grafico dell'andamento regionale della LST MODIS Missions: Level-1



Fonte: dati MODIS LST - 2015 (NASA), elaborati tramite Google Earth Engine

In parallelo, si è contribuito alla costruzione della metodologia per l'analisi "Comune Risparmia Suolo", sviluppata con l'obiettivo di identificare i comuni più virtuosi nella gestione del suolo.

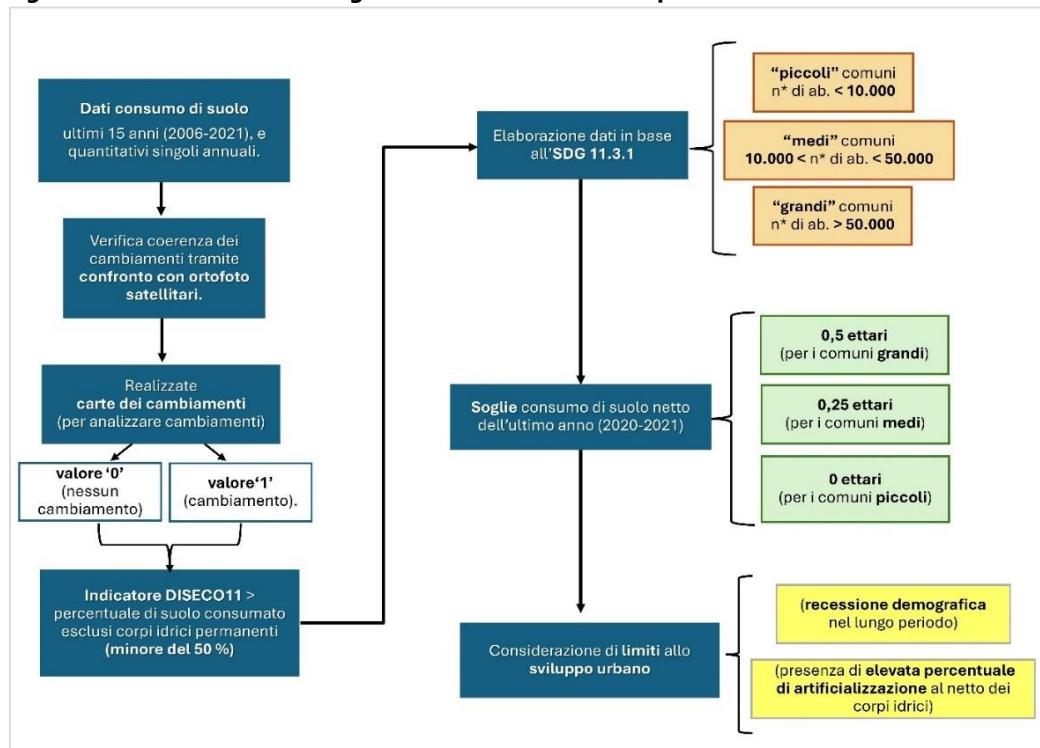
L'analisi, inserita nel Rapporto sul Consumo di Suolo 2022, ha utilizzato dati raccolti dalle ARPA a livello comunale. È stata calcolata la differenza di suolo consumato tra il primo (2006) e l'ultimo anno (2021) della serie storica, per valutare eventuali incrementi o decrementi nel consumo di suolo.

Inoltre, sono stati presi in considerazione i corpi idrici e le aree bonificate, escludendo le superfici occupate da specchi d'acqua per una valutazione più accurata del consumo di suolo effettivo.

L'analisi ha utilizzato l'indicatore SDG 11.3.1 per misurare l'efficienza nell'uso del suolo, prendendo in considerazione la crescita demografica. Le soglie di consumo sono state differenziate in base alla dimensione dei comuni (piccoli, medi, grandi) e alla densità abitativa, selezionando solo i comuni con tassi di crescita della popolazione positivi e consumi sostenibili.

I risultati sono stati validati tramite ortofoto satellitari per confermare i cambiamenti reali e distinguere i casi di riqualificazione ambientale da quelli di semplice ripristino superficiale. In Fig 17.2 è rappresentato il *flowchart* della metodologia multicriteri.

Fig 17.2 – Flowchart Metodologia Multicriteri “Comuni risparmia suolo” ISPRA, 2022



Fonte: Munafò, M. (a cura di), 2022. *Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici*. Edizione 2022. Report SNPA 32/22 ISBN 978-88-448-1124-2 © Report SNPA, 32/22 Luglio 2022

17.4 Conclusioni

La ricerca ha evidenziato l'efficacia della metodologia multicriteri nella valutazione della sostenibilità dello sviluppo territoriale a livello comunale.

Questo approccio ha permesso di identificare i comuni più virtuosi nella gestione del suolo, tra cui, per l'anno in questione, sono emersi Como, Impruneta e Marano di Valpolicella.

Tuttavia, si segnala un incremento preoccupante dell'impermeabilizzazione del suolo in Italia, con una perdita di quasi due metri quadrati al secondo.

Le attività svolte hanno contribuito significativamente a una comprensione più approfondita delle dinamiche territoriali, promuovendo l'adozione di pratiche di gestione sostenibile delle risorse naturali.

L'integrazione dei dati sul consumo di suolo con quelli relativi alle temperature urbane ha permesso di evidenziare le complesse interazioni tra l'urbanizzazione e il microclima locale.

I dati hanno mostrato, infatti, come le temperature superficiali (LST) tendano a essere più elevate nelle zone densamente urbanizzate rispetto alle aree con copertura arborea variabile, da scarsa a totale, confermando l'influenza mitigatrice della vegetazione sul riscaldamento urbano. I risultati ottenuti evidenziano la necessità di un monitoraggio costante delle condizioni del suolo e della temperatura superficiale. Queste informazioni sono fondamentali per supportare l'elaborazione e l'implementazione di politiche di pianificazione urbana sostenibile.

17.5 Bibliografia e Sitografia

Esri. "Model Builder". In: ArcGIS Desktop [software GIS]. Versione 10.8. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, Inc., 2020

European Environment Agency (EEA). (2020). *Tree Cover Density 2018 (raster 10 m)*, Europe, 3-yearly [Dataset]. Copernicus Land Monitoring Service. <https://doi.org/10.2909/486f77da-d605-423e-93a9-680760ab6791>

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). *Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone*. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18-27

Munafò, M. (a cura di), 2022. *Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici*. Edizione 2022. Report SNPA 32/22 ISBN 978-88-448-1124-2 © Report SNPA, 32/22 Luglio 2022

NASA MODIS Land Team. (2015). *MOD11A2 MODIS/Terra Land Surface Temperature/Emissivity 8-Day L3 Global 1km SIN Grid V006* [Dataset]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD11A2.006>

Nazioni Unite. (2021a). *Metadata-11-03-01: Ratio of land consumption rate to population growth rate*. Divisione Statistica delle Nazioni Unite. <https://unstats.un.org/sdgs/metadata/files/Metadata-11-03-01.pdf>

Nazioni Unite. (2021b). *Metadata-15-03-01: Proportion of land that is degraded over total land area*. Divisione Statistica delle Nazioni Unite

Tarquini S., Isola I., Favalli M., Battistini A. (2007). *TINITALY, a digital elevation model of Italy with a 10 meters cell size (Version 1.0)* [Data set]. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/tinitaly/1.0>

Parte 2 - ANALISI STATISTICHE

1. Il/la tirocinante

A cura di Simona **Buscemi**, Servizio per l'informazione, le statistiche ed il reporting sullo stato dell'ambiente

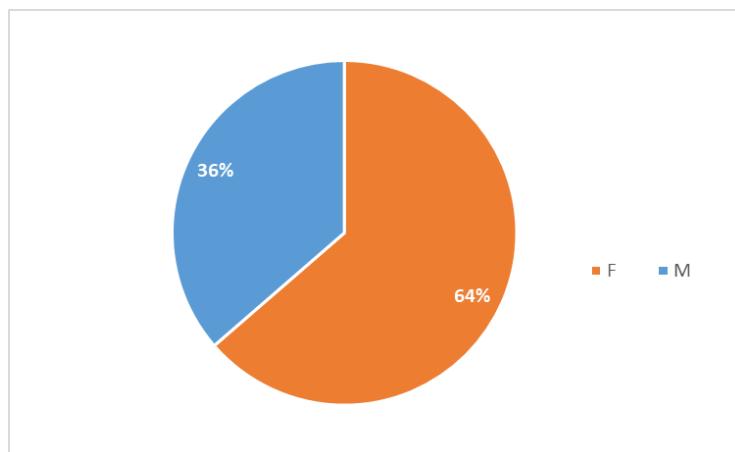
1.1 Analisi di genere

I tirocini su tematiche ambientali/scientifiche attivati in ISPRA nel 2022 sono stati, complessivamente, 44.

Analizzandoli con riferimento al genere, emerge che è stata maggiore la presenza della componente femminile, attestata al 64% del totale (Fig 1.1).

Risultato, questo, in controtendenza rispetto al dato sia nazionale che internazionale che registra, invece, costantemente un divario a favore del genere maschile nelle discipline c.d. STEM (*Scienza, Tecnologia, Ingegneria e Matematica*), notoriamente appannaggio più degli uomini che delle donne laddove, in ISPRA, sono stati nettamente superiori i tirocini attivati a favore di studentesse.

Fig 1.1 – Genere

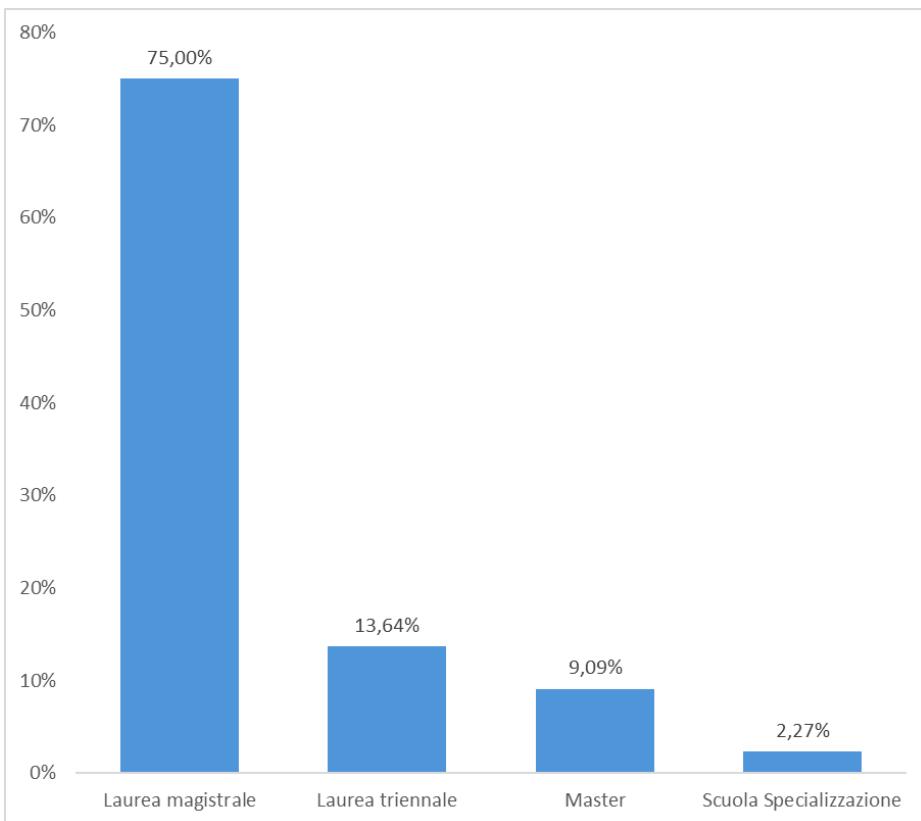


Fonte: elaborazione S. Buscemi su dati ISPRA

1.2 Corso di studio

Esaminando il corso di studio dei/delle tirocinanti ospitati emerge che tre quarti stavano frequentando un corso di Laurea magistrale. Del rimanente 25%, si osserva che: oltre la metà frequentava una Laurea triennale (13,64%), circa il 9,09% studiava per il conseguimento di un Master e, infine, il 2,27% frequentava una Scuola di Specializzazione (Fig 1.2).

Fig 1.2 – Tipologia corsi di studio



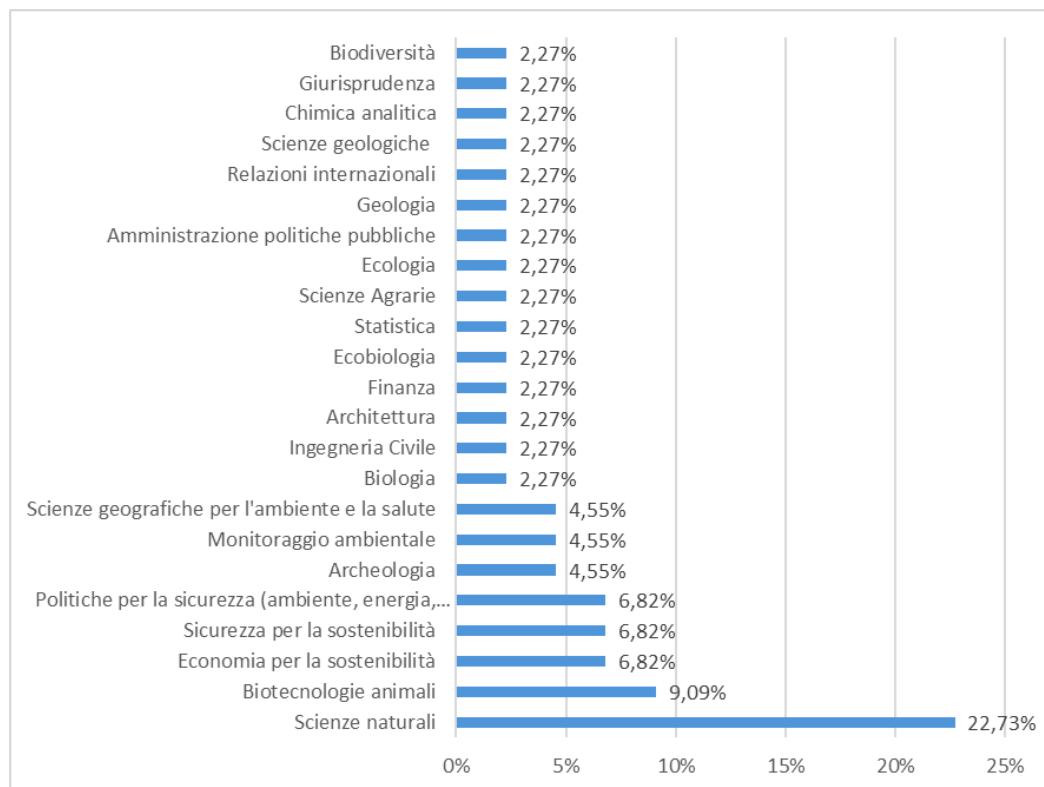
Fonte: elaborazione S. Buscemi su dati ISPRA

Le/gli studenti interessati ad un tirocinio presso ISPRA, all'avvio del tirocinio, seguivano percorsi di studio tecnico/scientifico affini, per i contenuti, alle attività istituzionali proprie dell'istituto che concernono, essenzialmente, l'esercizio delle funzioni tecniche e scientifiche per la più efficace pianificazione e attuazione delle politiche di sostenibilità delle pressioni sull'ambiente.

Tra le tematiche principali dei corsi di studio seguiti dai/dalle tirocinanti spiccano le scienze naturali (22,73%), le biotecnologie animali (9,09%) e, a pari merito (6,82%), l'economia e la sicurezza per la sostenibilità, le politiche per la sicurezza (ambiente, energia, conflitti) e a seguire le altre tematiche evidenziate in Fig 1.3.

Durante i tirocini, infatti, le/gli studenti hanno affiancato tecnici esperti nelle ordinarie attività poste in essere per il perseguitamento degli obiettivi di tutela dell'ambiente, attraverso ricerca, monitoraggio, controllo e valutazione dell'ambiente, oltre che di gestione dell'informazione ambientale.

Fig 1.3 – Tematiche corsi di studio di provenienza

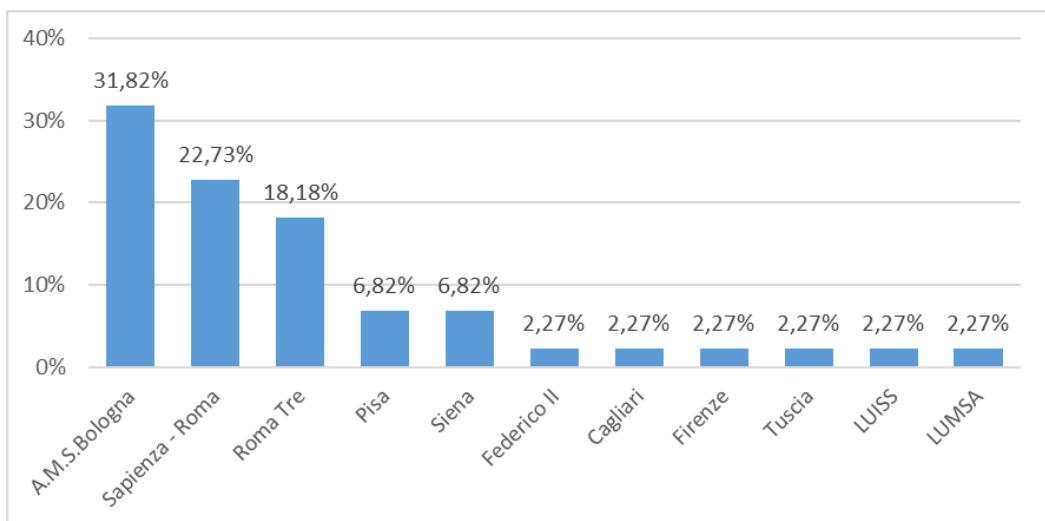


Fonte: elaborazione S. Buscemi su dati ISPRA

Riguardo alle Università di provenienza, più di un terzo dei/delle tirocinanti è stato avviato dall'Alma Mater Studiorum - Università di Bologna (31,82%) e, a seguire, studenti di Sapienza - Università di Roma (22,73%) e Università degli Studi - Roma Tre (18,18%).

I/le tirocinanti provenienti dall'Università di Pisa e degli Studi di Siena sono stati/e presenti in egual misura (6,82%), così come quelli provenienti dall'Università degli Studi di Napoli - Federico II, dall'Università degli Studi di Cagliari, dall'Università degli Studi di Firenze, dall'Università degli Studi della Tuscia, dalla Libera Università Internazionale degli Studi Sociali (LUISS) e dalla Libera Università Maria SS. Assunta di Roma (2,27%).

Fig 1.4 – Università di provenienza

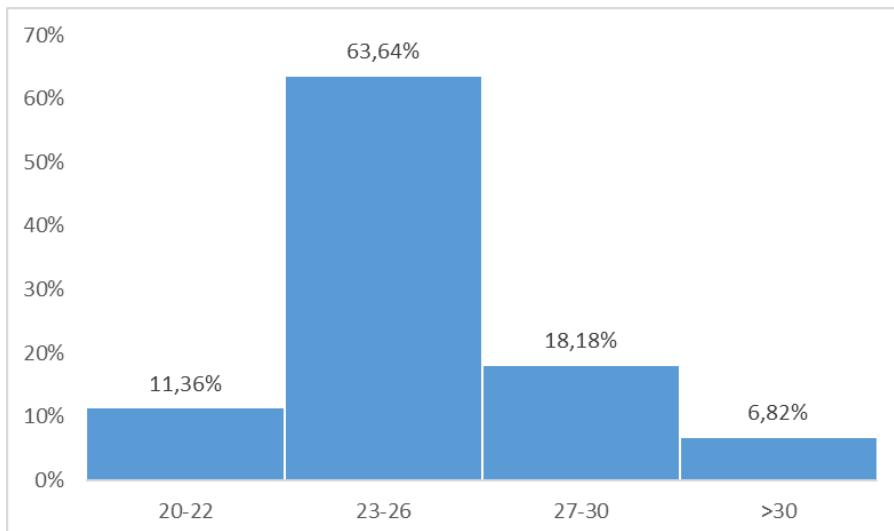


Fonte: elaborazione S. Buscemi su dati ISPRA

1.3 Fasce di età

Raggruppando, invece, i/le tirocinanti per fasce di età (Fig 1.5), emerge che quella maggiormente rappresentata è stata la classe 23-26 anni (63,64%), a seguire le classi 27-30 anni (18,18%), 20-22 anni (11,36%) e, infine, i/le tirocinanti con almeno 30 anni di età (6,82%).

Fig 1.5 – Fasce di età (anni)



Fonte: elaborazione S. Buscemi su dati ISPRA

La maggiore presenza di/delle tirocinanti nella fascia di età 23-26 anni conferma il precedente risultato sui corsi di studio frequentati dai/dalle tirocinanti, laddove si è registrato che la maggior parte di essi/e ha frequentato il tirocinio per il conseguimento della Laurea magistrale.

2. Lo svolgimento del tirocinio

*A cura di Vincenza **Cipollone**, Sezione per la promozione di progetti di alternanza formazione-lavoro, Area educazione e formazione - Servizio per l'educazione e formazione ambientale e per il coordinamento tecnico delle attività di Direzione*

2.1 Le aree formative

ISPRA presenta un'articolata organizzazione di uffici e laboratori distribuiti sul territorio nazionale.

Oltre le tre sedi di Roma, di cui una interamente dedicata ai Laboratori, vi sono sedi anche a Ozzano dell'Emilia, Venezia, Chioggia, Livorno, Milazzo e Palermo.

Attualmente si conta una Direzione Generale, una Presidenza, 4 Dipartimenti - strutture dirigenziali di livello generale - e 4 Centri Nazionali - strutture dirigenziali di livello non generale.

I Dipartimenti, la Direzione Generale e la Presidenza sono ulteriormente articolati in strutture dirigenziali di livello non generale e Aree Tecnologiche di Ricerca - strutture non dirigenziali - al pari di sezioni e settori, ulteriori articolazioni organizzative (dettaglio in Appendice).

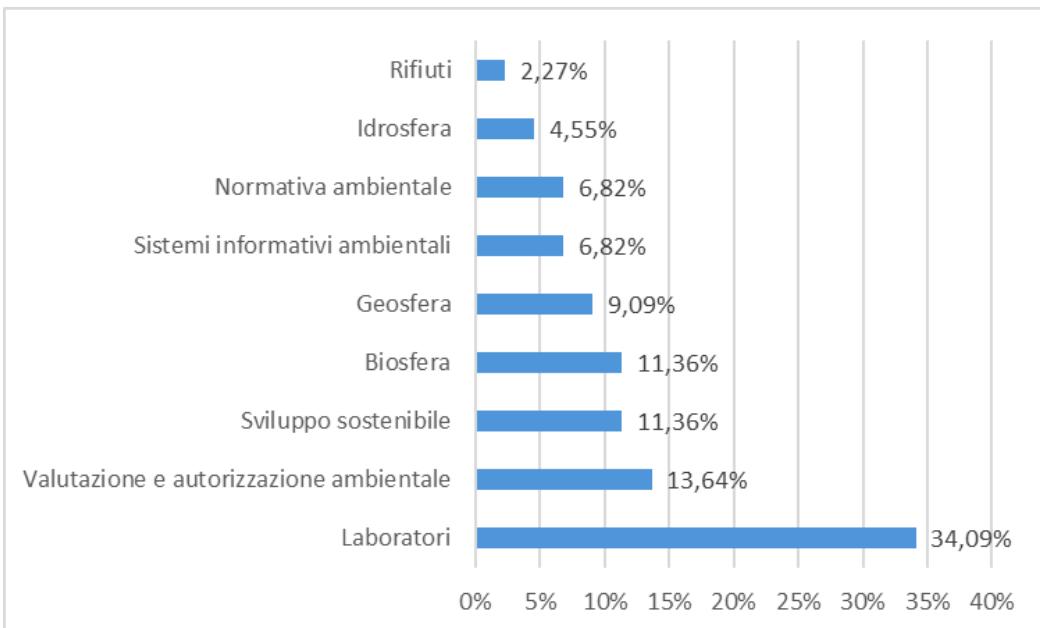
In queste strutture puntualmente organizzate, ognuna con proprie e specifiche linee di attività, i/le tirocinanti vengono ospitati/e e svolgono le attività formative come definite dal progetto formativo concordato tra Università, tirocinante ed ISPRA.

L’"area tematica" di un tirocinio curriculare può essere definita come l’ambito specifico entro il quale si colloca l’esperienza formativa di tirocinio. L’ente promotore del tirocinio (Università/Ente di alta formazione, ecc.) nel proporre ad ISPRA, con formale richiesta, l’attivazione del tirocinio indica anche un oggetto formativo, ossia l’argomento da sviluppare e approfondire durante il tirocinio, in linea con i bisogni formativi teorico-pratici dello/a studente/ssa, per il completamento del proprio corso di studio.

È in relazione a questi contenuti che il/la tirocinante viene inserito/a nell’unità ISPRA competente per materia.

Nell'anno di riferimento, i tirocini svolti hanno riguardato principalmente le attività proprie dei laboratori ISPRA (34,09%), poi le tematiche della valutazione e autorizzazione ambientale (13,64%), dello sviluppo sostenibile e della biosfera (11,36%). A seguire, si trovano le restanti attività dell'Istituto indicate in Fig 2.1.

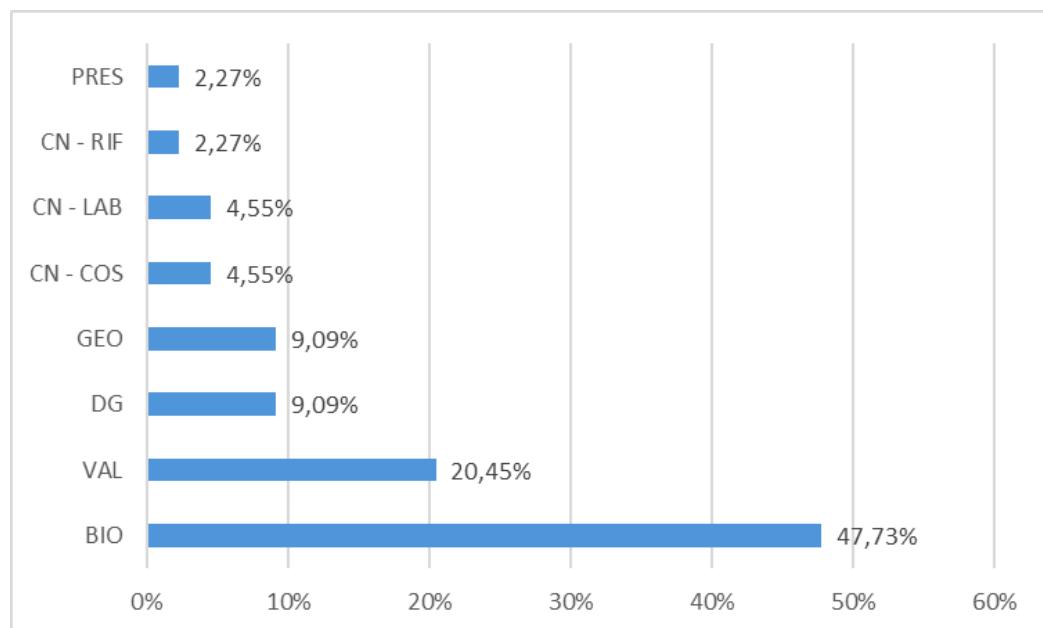
Fig 2.1 – Aree tematiche dei tirocini



Fonte: elaborazione S. Buscemi su dati ISPRA

Come rappresentato in Fig 2.2, le tematiche ambientali oggetto dei tirocini 2022 sono state svolte, quindi, principalmente presso le diverse Unità in cui si articola il Dipartimento per il monitoraggio e la tutela dell'ambiente e per la conservazione della biodiversità (47,73%) e il Dipartimento per la valutazione, i controlli e la sostenibilità ambientale (20,45%).

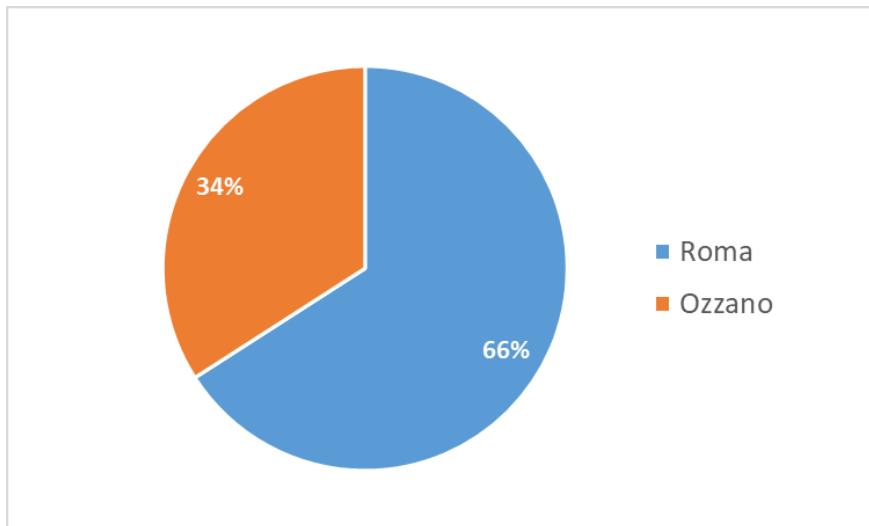
Fig 2.2 – Unità ISPRA ospitanti i tirocini



Fonte: elaborazione S. Buscemi su dati ISPRA

Da questo dato discende che la maggior parte dei/delle tirocinanti (66%) è stata ospitata nelle sedi romane e la restante parte presso la sede di Ozzano dell'Emilia (Fig 2.3) ove opera l'Area per la Genetica della Conservazione del Servizio per il coordinamento delle attività della fauna selvatica di ISPRA.

Fig 2.3 - Dislocazione geografica tirocini

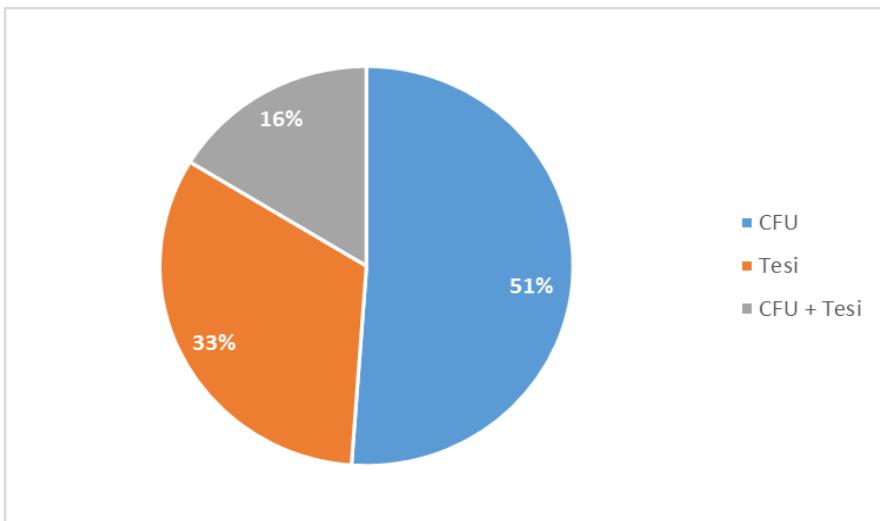


Fonte: elaborazione S. Buscemi su dati ISPRA

2.2 Finalità dei tirocini

I tirocini curriculare attivati in ISPRA nel 2022, finalizzati all'approfondimento e/o al completamento della formazione attraverso un'esperienza pratica presso una struttura convenzionata con l'ente proponente, hanno avuto una esplicita finalità formativa tradotta: nell'acquisizione di un numero di Crediti Formativi Universitari (CFU), nella preparazione della prova finale (redazione della tesi) oppure nella preparazione della tesi con riconoscimento crediti.

Fig 2.4 – Obiettivo dei tirocini



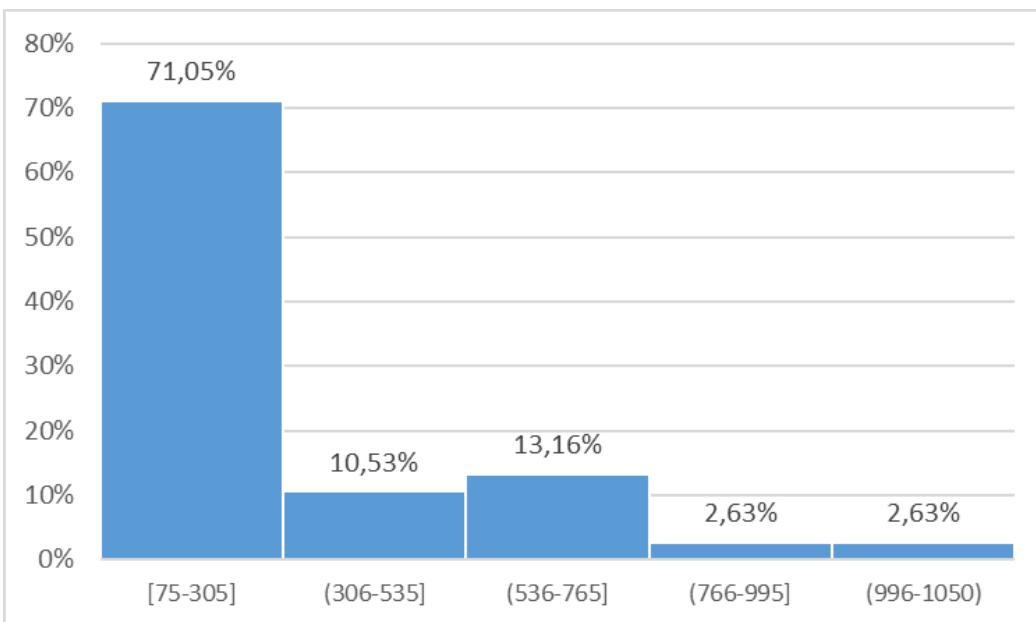
Fonte: elaborazione S. Buscemi su dati ISPRA

In Fig 2.4 emerge che dei tirocini formativi curriculare attivati il 51% erano finalizzati all'attribuzione di CFU, mentre il 33% alla preparazione della prova finale/tesi. Il restante 16% dei tirocini attivati ha soddisfatto entrambe le finalità.

2.3 Durata e modalità di svolgimento

La normativa nazionale, che definisce e disciplina il tirocinio curriculare (modalità di attuazione, finalità e garanzie assicurative) ne fissa anche la durata massima, comprensiva di eventuali proroghe, in 12 mesi che diventano 24 nel caso di soggetti disabili. Nel caso in cui l'esperienza formativa curriculare preveda il riconoscimento di CFU, la durata è commisurata al numero di CFU previsti dal piano di studi: ogni CFU equivale a 25 ore di formazione.

Fig 2.5 – Durata dei tirocini (ore)



Fonte: elaborazione S. Buscemi su dati ISPRA

Nell'anno 2022, i tirocini hanno avuto una durata minima di 75 ore, fino ad un massimo di 1.050 ore. La maggior parte di questi tirocini (71,05%) hanno avuto una durata compresa tra le 75 e le 305 ore (Fig 2.5).

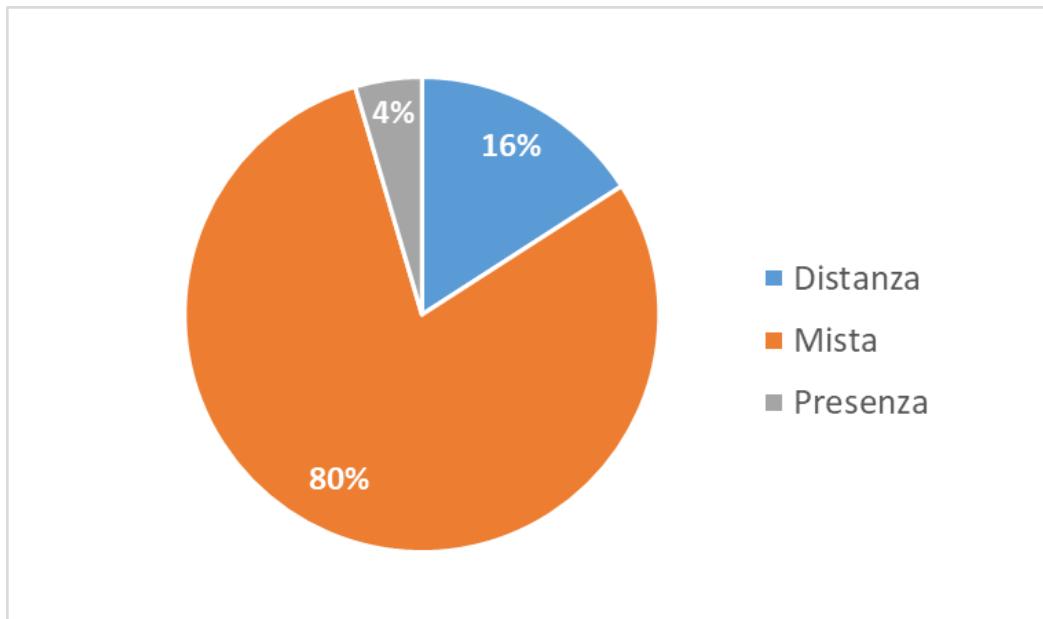
La Fig 2.5 non contempla n. 6 tirocini finalizzati alla preparazione della tesi di laurea e senza riconoscimento di CFU, la cui durata non è stata espressa in ore, bensì esclusivamente in "mesi". Le durate di questi 6 tirocini sono state da tre a sei mesi.

La modalità ordinaria di svolgimento di un tirocinio è "in presenza", cioè presso la sede del *soggetto ospitante* proprio perché il/la tirocinante possa sperimentare appieno la realtà lavorativa, affiancando il/la proprio/a *tutor*.

Talvolta, però, i contenuti formativi possono determinarne l'attivazione anche in modalità mista (presenza/distanza) o completamente a distanza, senza che ne venga compromessa la finalità formativa.

La situazione in ISPRA, nel 2022, evidenzia che l'80% dei tirocini attivati sono stati svolti in modalità "mista (presenza-distanza)" ed il 4% "in presenza". Il restante 16% contempla i tirocini erogati "a distanza" (Fig 2.6).

Fig 2.6 – Modalità di svolgimento



Fonte: elaborazione S. Buscemi su dati ISPRA

La netta prevalenza dei tirocini attivati in modalità mista, nello specifico contesto, può essere ricondotta a due ordini di ragioni.

La prima è che molte attività dell'Istituto ben si prestano ad essere svolte anche a distanza senza che questo implichi il venir meno dell'esperienzialità del tirocinio, ad esempio quelle di studio e ricerca, elaborazione ed analisi dati, ricerca bibliografica, ecc.. Dato confermato anche dall'utilizzo dello smart-working da parte degli stessi dipendenti ISPRA.

La seconda è che l'erogazione del tirocinio a distanza è una eredità dell'emergenza Covid-19, quando nel 2020-2021 furono sperimentati i primi tirocini a distanza o in modalità mista, al pari di quanto accadeva nel mondo del lavoro, sia pubblico che privato, con la previsione dello *smart working* quale modalità ordinaria di esecuzione della prestazione lavorativa.

Ragion per cui, laddove le attività formative previste possono essere svolte anche a distanza, gli enti proponenti continuano a richiedere l'attivazione di un tirocinio in modalità mista o a distanza.

APPENDICE

1. Struttura organizzativa

*A cura di Elvira **Gatta** e Vincenza **Cipollone** - Sezione per la promozione di progetti di alternanza formazione-lavoro, Area educazione e formazione - Servizio per l'educazione e formazione ambientale e per il coordinamento tecnico delle attività di Direzione*

PRES, Presidenza

PRES-INT, Area delle relazioni istituzionali, europee e internazionali

PRES-CSV, Area per il coordinamento strategico e la valutazione della ricerca

PRES-SNPA, Area per il Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente

PRES-PSMA, Area per il coordinamento delle iniziative a supporto delle Politiche Spaziali nazionali ed europee per l'implementazione dei servizi operativi di monitoraggio ambientale

DG, DIRETTORE GENERALE

DG-TEC, Servizio per l'educazione e formazione ambientale e per il coordinamento tecnico delle attività di Direzione

DG-TEC-NTA, Area normazione tecnica ambientale

DG-TEC-SNPA, Area per il raccordo delle attività tecniche con il SNPA

DG-EFA, Area educazione e formazione ambientale

DG-TEC-BIB, Area Biblioteca e reti bibliotecarie

DG-GIU, Servizio per gli affari giuridici e il contenzioso

DG-STAT, Servizio per l'informazione, le statistiche ed il reporting sullo stato dell'ambiente

DG-SGQ, Servizio per la gestione dei processi

DG-SINA, Servizio per il sistema informativo nazionale ambientale

DG-COM, Area per la comunicazione istituzionale, la divulgazione ambientale, gli eventi e la comunicazione interna

DG-MSM, Unità di missione per l'attuazione degli interventi del PNRR e PNC di cui all'art. 14, c.5. del D.L. 22.4.2023, n. 44

DG-SIC, Sezione prevenzione e protezione

VAL-DIR, Dipartimento per la valutazione, i controlli e la sostenibilità ambientale

VAL-ASI, Servizio per le valutazioni ambientali, integrate e strategiche, e per le relazioni tra ambiente e salute

VAL-AGF, Area per la valutazione, la prevenzione e il controllo dell'inquinamento ambientale derivanti da agenti fisici

VAL-ECA, Area per le valutazioni economiche, la contabilità e la sostenibilità ambientale, la percezione e gestione sociale dei rischi ambientali

VAL-CER, Servizio per le certificazioni ambientali

VAL-ATM, Area per la valutazione delle emissioni, la prevenzione dell'inquinamento atmosferico e dei cambiamenti climatici, la valutazione dei relativi impatti e per le misure di mitigazione e adattamento

VAL-RTEC, Servizio per i rischi e la sostenibilità ambientale delle tecnologie, delle sostanze chimiche, dei cicli produttivi e dei servizi idrici e per le attività ispettive

VAL-CLO, Area per il monitoraggio della qualità dell'aria e per la climatologia operativa

AGP-DIR, Dipartimento del personale e degli affari generali

AGP-BIL, Servizio Amministrazione e bilancio

AGP-GIU, Servizio per la pianificazione e la gestione giuridica del personale

AGP-PPA, Servizio per la gestione della piattaforma territoriale di Palermo

AGP-GAR, Servizio appalti e contratti pubblici

AGP-CMR, Servizio controllo, monitoraggio e rendicontazione delle attività PNRR e progetti di ricerca

AGP-INF, Servizio informatico

AGP-ECO, Servizio gestione economica del personale

AGP-SAG, Servizio per i servizi generali, l'inventario, le infrastrutture e le manutenzioni

GEO-DIR, Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia

GEO-APP, Servizio per la geologia applicata, la pianificazione di bacino e la gestione del rischio idrogeologico, l'idrogeologia e l'idrodinamica delle acque sotterranee

GEO-SGP, Area per la realizzazione del sistema dei servizi geologici e la valorizzazione del patrimonio geologico nazionale

GEO-DES, Area per il monitoraggio e l'analisi integrata dell'uso del suolo e delle trasformazioni territoriali ed i processi di desertificazione

GEO-CAR, Servizio per la geologia strutturale e marina, il rilevamento e la cartografia geologica

GEO-MUS, Area attività museali

GEO-PSC, Area per la caratterizzazione e la protezione dei suoli e per i siti contaminati

GEO-GFI, Area per l'applicazione dei metodi geofisici

GEO-RIS, Area per la geodinamica, le georisorse, la pericolosità e gli impatti degli eventi naturali e indotti

BIO-DIR, Dipartimento per il monitoraggio e la tutela dell'ambiente e per la conservazione della biodiversità

BIO-SOST, Servizio per la sostenibilità della pianificazione territoriale, per le aree protette e la tutela del paesaggio, della natura e dei servizi ecosistemici terrestri

BIO-ACID, Area per il monitoraggio e per il risanamento delle acque interne

BIO-ACAS, Area per l'idrologia, l'idrodinamica e l'idromorfologia, lo stato e la dinamica evolutiva degli ecosistemi delle acque interne superficiali

BIO-ACAM, Area per il monitoraggio e la caratterizzazione dello stato della qualità dell'ecosistema e delle acque marine

BIO-AMIC, Area per lo sviluppo sostenibile dell'acquacoltura nelle acque interne, di transizione e marino costiere

BIO-HBT, Area per la tutela della biodiversità, degli habitat e specie marine protette

BIO-CIT, Area per la conservazione, la gestione e l'uso sostenibile del patrimonio ittico e delle risorse acquatiche marine nazionali

BIO-CFL, Area per la conservazione e la gestione della flora, della vegetazione e delle foreste, degli habitat e degli ecosistemi dei suoli e per l'uso sostenibile delle risorse agroforestali

BIO-CFS, Servizio per il coordinamento delle attività della fauna selvatica

BIO-AVM, Area avifauna migratrice

BIO-CFN, Area pareri tecnici e strategie conservazione e gestione patrimonio faunistico nazionale e mitigazione danni e impatti

BIO-CGE, Area per la genetica della conservazione

BIO-EPD, Area per l'epidemiologia, l'ecologia e la gestione della fauna stanziale e degli habitat

CN-RIF, Centro Nazionale dei rifiuti e dell'economia circolare

RIF-RCO, Area tematica contabilità dei rifiuti

RIF-RST, Area tematica strumenti economici

RIF-RNO, Area tematica gestione dei rifiuti e tecnologie

CN-LAB, Centro nazionale per la rete nazionale dei laboratori

LAB-FIS, Area fisica, geologia, geotecnica, idrodinamica, acustica, campi elettromagnetici, radiazioni UV e radiazioni ionizzanti

LAB-ECO, Area Ecotoxicologia

LAB-BIO, Area Biologia

LAB-MTR, Area Metrologia

LAB-CHI, Area Chimica

CN-CRE, Centro Nazionale per le crisi e le emergenze ambientali e il danno

CRE-EMA, Area per le emergenze ambientali in mare

CRE-DAN, Area per l'accertamento, la valutazione e riparazione del danno ambientale

CRE-ETF, Area per le emergenze ambientali sulla terraferma

CRE-CSA, Centro Operativo per la sorveglianza ambientale

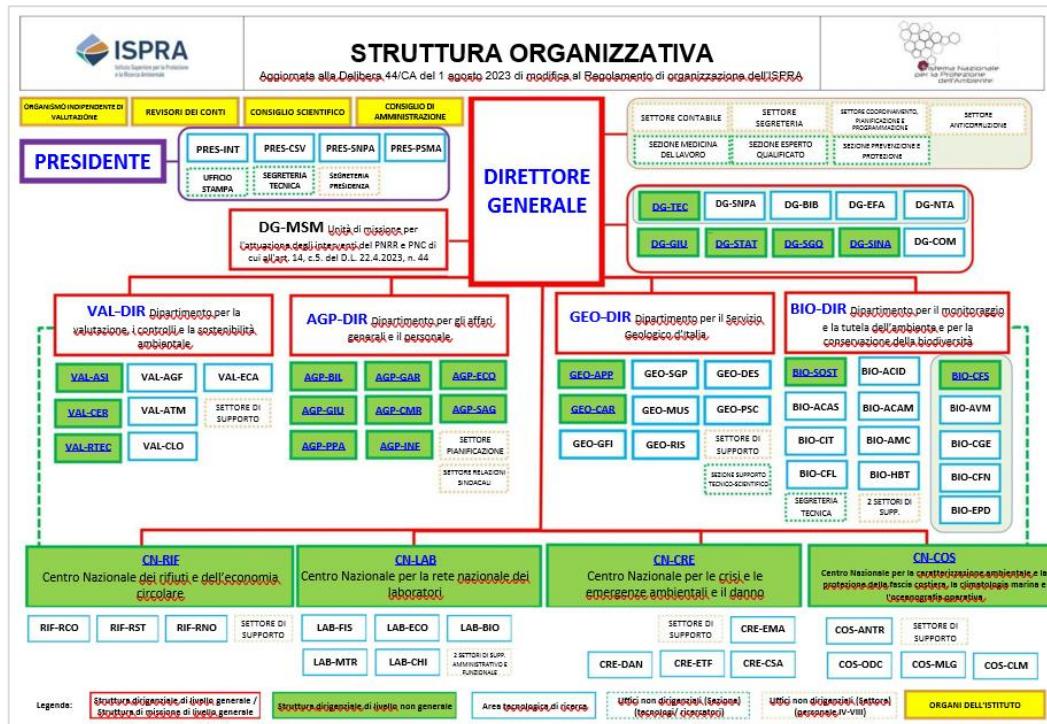
CN-COS, Centro Nazionale per la caratterizzazione ambientale e la protezione della fascia costiera, la climatologia marina e l'oceanografia operativa

CN-COS-ANTR, Area per la valutazione integrata, fisica, chimica e biologica, della qualità nell'ambiente marino-costiero e salmastro e degli impatti nella fascia costiera in relazione alle pressioni antropiche

COS-ODC, Area per l'oceanografia operativa, l'idrodinamica costiera, il monitoraggio e la difesa delle coste

COS-MLG, Area maree e lagune

COS-CLM, Area per il monitoraggio dello stato fisico del mare e per la climatologia marina



Fonte: ISPRA

QUADERNI
EDCAZIONE E FORMAZIONE
AMBIENTALE

4/2025