

Anno 2024 | Rapporto
Tecnico n. 27

ISSN 2611-4070

DiSSCo

Distributed System of Scientific Collections

Serie di Rapporti Tecnici a cura del Gruppo di Lavoro CNR-ISMAR DiSSCo

L'Infrastruttura di Ricerca DiSSCo (Distributed System of Scientific Collections): il ruolo del CNR-ISMAR e le prospettive di sviluppo

Autori

Simona Armeli Minicante, Elisa Camatti, Lucilla Capotondi, Roberta D'Onofrio, Edoardo Di Russo, Luciana Ferraro, Laura Giordano, Valentina Grande, Irene Guarneri, Francesca Maggiore, Simone Redolfi Bristol, Marco Sigovini

Abstract

L'Infrastruttura di Ricerca DiSSCo riunirà virtualmente le collezioni di scienze naturali conservate in musei di storia naturale, orti botanici, centri di ricerca ed università, in un portale unico a livello europeo rendendole *Findable, Accessible, Interoperable* e *Reusable* (FAIR). Il presente rapporto tecnico nasce con l'intento di descriverne il contesto evolutivo ed evidenziare le prospettive di sviluppo delle attività a livello nazionale ed internazionale sia rispetto al ruolo dell'Istituto di Scienze Marine (CNR-ISMAR) che al panorama programmatico in cui si inseriscono alcune Infrastrutture di Ricerca.

Sommario

Introduzione.....	3
La biodiversità	4
La geodiversità	5
Il potenziale delle collezioni di scienze naturali per la ricerca scientifica	6
DiSSCo EU: strategia e stato dell'arte	7
DiSSCo Italia: strategia e stato dell'arte	9
Il ruolo del CNR-ISMAR nell'infrastruttura di ricerca DiSSCo-IT	10
Bibliografia	14

Introduzione



L'Infrastruttura di Ricerca DiSSCo (*Distributed System of Scientific Collections*,

<https://www.dissco.eu/>) ha come obiettivo riunire virtualmente le collezioni di scienze naturali e le relative informazioni conservate in musei di storia naturale, orti botanici, centri di ricerca ed università in uno portale unico a livello europeo, e di renderle *Findable, Accessible, Interoperable e Reusable* (FAIR). DiSSCo occupa il livello di base nel panorama delle Infrastrutture di Ricerca (IR), in quanto fornisce un accesso unificato a dati, conoscenze e competenze sulla biogeodiversità correlate alle collezioni. Nasce dopo un lungo percorso condotto all'interno di una rete europea dei principali musei di storia naturale e dei centri di ricerca sulla biodiversità afferenti al CETAF (*Consortium of European Taxonomic Facilities*, <https://cetaf.org/>), rete derivata per condividere informazioni su collezioni e competenze, per uniformare i metodi di conservazione e degli studi molecolari, per favorire l'accesso alle collezioni, per gestire ed incrementare le collezioni fisiche e per creare collezioni virtuali.

Le collezioni di scienze naturali rappresentano la testimonianza di biodiversità e geodiversità storica ed attuale di un territorio, assumendo così il duplice ruolo di veicolo di informazione culturale e materiale di studio.

DiSSCo ha, come componente fondamentale dell'architettura tecnica, il *FAIR Digital Objects* (FDO), una rappresentazione virtuale del campione fisico conservato in una collezione, e identificato da: nome dell'oggetto (specie animale, vegetale, fossile o vivente, roccia o minerale), immagine ed informazioni minime associate al campione fisico (es.: località e data di raccolta, il nome di chi lo ha raccolto o di chi lo ha determinato). DiSSCo prevede anche il collegamento diretto al *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF, <https://www.gbif.org/>).

La biodiversità

I musei naturalistici custodiscono i reperti originali e le ricostruzioni della storia naturale degli ultimi 2 secoli e mezzo. Nascono con l'illuminismo nella seconda metà del '700; nel 1752 nell'*Encyclopedie* di Diderot compare la voce «Gabinetto di storia naturale» inteso come luogo in cui "tutte le collezioni sono disposte secondo l'ordine metodico e distribuite nel modo meglio confacente allo studio della Storia naturale" e distribuite in tre regni: fossili, piante e animali, classificazione poi formalizzata da Linneo.



Linneo fece ordine nella classificazione tassonomica attraverso la nomenclatura binomia. Un secolo dopo, nel 1859, Darwin formulò la teoria dell'origine della specie come evoluzione graduale nel tempo attraverso il processo di selezione naturale, mentre Wallace, studiando la distribuzione geografica delle specie animali del pianeta, diede impulso alla nascita della biogeografia, disciplina di sintesi, che ha strette relazioni e scambi con altre discipline: sistematica, ecologia, oceanografia, meteorologia, geologia, palinologia, geografia, paleontologia, etc.

Il concetto di biodiversità va oltre l'evidenza di cosa c'è; l'evoluzione degli studi e del pensiero scientifico nel '900 sulla specie fornisce una visione integrata della biodiversità, attraverso lo studio della relazione tra comportamento ed ambiente. Si ricordano, ad esempio, gli studi sulla nicchia trofica e la posizione di una specie nella piramide alimentare (Elton, 1927), l'analisi dei tratti fenotipici delle piante terrestri che evidenzia il modo in cui la specie adatta la propria morfologia in funzione del clima (Raunkiaer, 1934), l'estensione del concetto di nicchia ai fattori abiotici e cioè la tolleranza di una specie agli stessi (Hutchinson, 1957).

Questi sono stati studi di base dell'ecologia della specie cui è seguita un'ampia produzione scientifica che ha focalizzato l'attenzione su questi argomenti.

L'odierna crisi di biodiversità è riconosciuta da molti autori come la "sesta estinzione di massa" o il suo incipit (Kolbert, 2014; Cowie et al., 2022) ed è anche nota come "estinzione dell'Antropocene" (Pievani, 2014). Quest'ultima attribuzione risulta causata interamente dalle attività umane, tra cui la conversione degli habitat, l'uso e/o l'immissione di sostanze dannose nell'ambiente e, più di recente, i cambiamenti climatici. Lo sviluppo delle tecniche di *Information and Communication Technology* (ICT) e di *Biodiversity informatics* consente oggi di razionalizzare la mole di

informazioni di letteratura e di studi di autoecologia attraverso banche dati tematiche (es. [GenBank](#), [BOLDSystems](#), [TRY](#), [Marine Species Traits](#), [AlgaeTraits](#), [OBIS](#), etc.).

La geodiversità

Con il termine "geodiversità" (Gray, 2004) ci si riferisce alla varietà degli elementi geologici (rocce, minerali, fossili), geomorfologici (rilievi, valli, edifici vulcanici, etc.), idrologici e pedologici, alla complessa gamma di interazioni tra questi ed ai processi naturali (sedimentario, metamorfico, magmatico, tettonico, climatico, etc.) che formano e modellano il paesaggio del nostro pianeta sia a scala locale che globale. Benché elementi e processi biologici e geologici operino su scale temporali nettamente differenti, geodiversità e biodiversità risultano strettamente interconnesse in quanto costituiscono il sistema biotico-abiotico terrestre. Infatti, tutti i fattori che influenzano o determinano la varietà degli ambienti geologici (geodiversità) condizionano e controllano, ora come nel passato, lo sviluppo, l'evoluzione e l'eterogeneità della vita sulla Terra (biodiversità). Molte aree di valore geologico sono attualmente alterate a causa di attività umane quali ad esempio l'urbanizzazione, il turismo, ed il non corretto uso delle risorse, fattori che hanno spesso effetti negativi anche sulla perdita della biodiversità e sulla alterazione degli ecosistemi. Per tali ragioni, la comunità scientifica internazionale ha istituito i così detti Geositi, ovvero "località, aree o territori in cui è possibile individuare un interesse geologico o geomorfologico per la conservazione" (Wimbledon, 1996). Per l'Italia esiste l'Inventario Nazionale dei Geositi dell'ISPRA e contenente informazioni sui geositi di interesse geologico (<http://sgi.isprambiente.it/GeositiWeb/Default.aspx>). Al di là del valore intrinseco, la tutela di questi siti, ed una loro corretta gestione, è utile anche per il loro potenziale sociale ed economico. Inventariare, stimare e valutare la geodiversità richiede un approccio ampio ed interdisciplinare, occorre infatti censire gli elementi geologici naturali ed antropici di una determinata area (Tukiainen et al., 2023).



Il potenziale delle collezioni di scienze naturali per la ricerca scientifica



Recentemente le collezioni di scienze naturali hanno attirato l'interesse degli scienziati per evidenziare la stretta relazione fra impatti sulle specie in seguito a cambiamenti ambientali. Vengono qui riportati in sintesi quattro esempi.

1. **Il Plasticene.** Haram et al. (2020) definiscono Plasticene un'era, all'interno dell'Antropocene, iniziata negli anni '50 del 900 e documentata dalla presenza di plastica in tutti gli ambienti sedimentari con un incremento esponenziale a partire dal 1950. Le microplastiche sono presenti anche negli organismi marini come documentato da uno studio effettuato in organismi acquatici raccolti e archiviati tra il 1900 e il 2019 e conservati in collezioni museali (Ilechukwu et al., 2023).
2. **Climate change.** La fenologia è un ramo della biologia che studia i rapporti tra fattori climatici e manifestazioni di alcuni fenomeni della vita vegetale e animale. Lo studio della fenologia vegetale è stato notevolmente facilitato dalle collezioni di erbari, attraverso lo studio dell'influenza della temperatura su eventi fenologici come la fioritura. Un esempio riguarda uno studio effettuato su 40 specie vegetali nord-americane raccolte in un arco di tempo di 50 anni e conservate in fogli di erbario (Vellend et al., 2013). Confrontando le date di raccolta con le temperature nell'arco di tempo considerato, si osserva una stretta relazione fra fioritura e temperatura con un'anticipazione della fioritura in funzione di un incremento di temperatura.
3. **Museomics.** Il continuo sviluppo delle tecnologie genetico molecolari consente l'analisi dell'hdDNA (*historical DNA*) estratto da campioni museali consentendo di determinare erosione genetica ed estinzione storica, la scoperta di specie nuove, la comprensione delle relazioni evolutive oltre che la determinazione delle origini delle malattie infettive (Raxworthy and Smith, 2021).

4. **Epidemiologia.** Come recentemente dimostrato, le collezioni museali possono essere un valido supporto per la comprensione di "salti di specie". A seguito della recente pandemia COVID 19, nel dicembre del 2021 è iniziato il progetto "COVID-19 Chiropteran Knowledge Base" che ha preso in considerazione l'organizzazione e la digitalizzazione di collezioni di scheletri e materiale conservato di pipistrelli di nove istituzioni europee (attualmente consultabile sul portale del museo di scienze naturali di Londra), effettuando ricerche bibliografiche su virus e ospite. I risultati della ricerca hanno evidenziato che il virus era già presente sotto forma di SARS-CoV-2 (betaCoV) nei reperti analizzati. Tali risultati spingono, per il futuro, verso un approccio integrativo che mira alla messa a punto di protocolli standard per archiviare permanentemente campioni microbiologici e i campioni ospiti da cui sono stati prelevati (Thompson et al., 2021).

DiSSCo EU: strategia e stato dell'arte

DiSSCo occupa il livello di base nel panorama delle IR (Fig.1). È di supporto alla IR eLTER (*European Long-Term Ecosystem Research*) in quanto fornisce dati e conoscenze su bio- e geodiversità correlate alle collezioni, mentre eLTER utilizza i dati di biodiversità a livello degli ecosistemi seguendone la variabilità nel tempo; le due infrastrutture sono complementari nel servizio del dominio ambientale.

DiSSCo si collega anche alla IR MIRRI (*The Microbial Resource Research Infrastructure*), che rende disponibili dati su diversità microbica.

Con LifeWatch, invece, ha una funzione di integrazione per comprendere le complesse interazioni tra le specie e l'ambiente, sfruttando i sistemi ad alte prestazioni, a griglia e *big data computing* e lo sviluppo di strumenti di modellazione avanzati per implementare misure di gestione.

DiSSCo posizionerà l'attuale panorama frammentato delle collezioni naturalistiche su una base di conoscenza integrata che fornirà alla società dati interconnessi attorno al campione come prova concreta del mondo naturale. La comunità scientifica di DiSSCo mira a costruire un modello integrato paneuropeo che offrirà ai ricercatori l'accesso in tempo reale a metadati e dati collegati alle collezioni di scienze naturali per svolgere attività scientifiche avanzate in un'ampia varietà di ambiti (Fig.2).

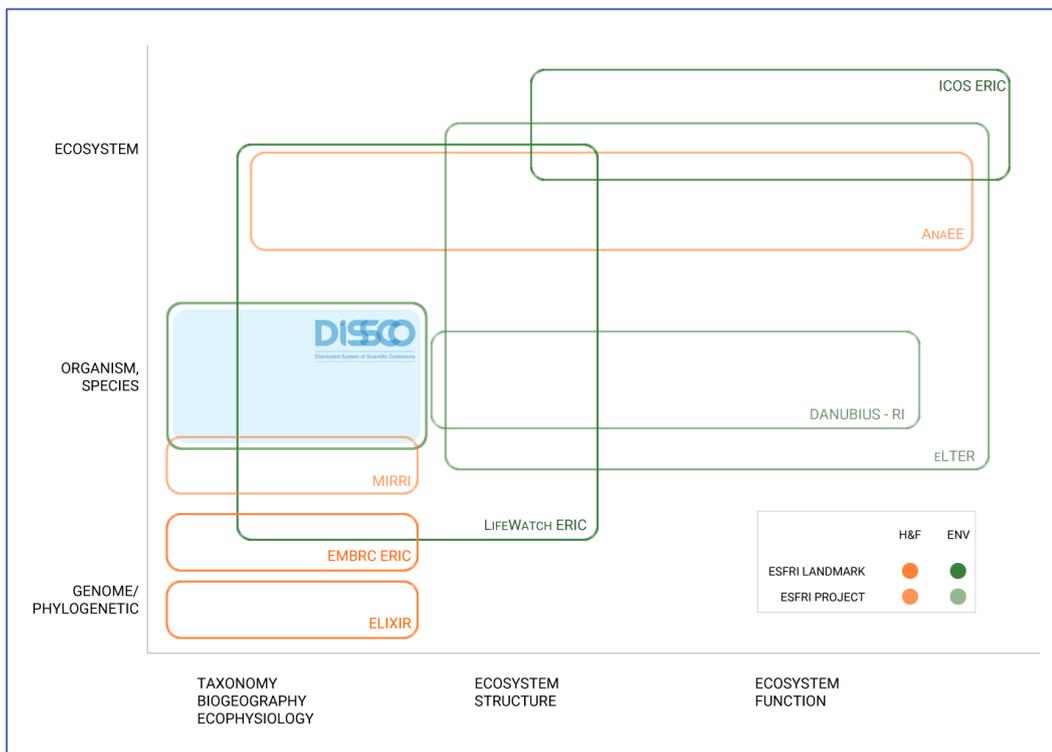


Fig. 1 - Schema delle Infrastrutture di Ricerca ESFRI che illustra relazioni e legami fra le IR coinvolte in studi su biodiversità ed ecosistemi.

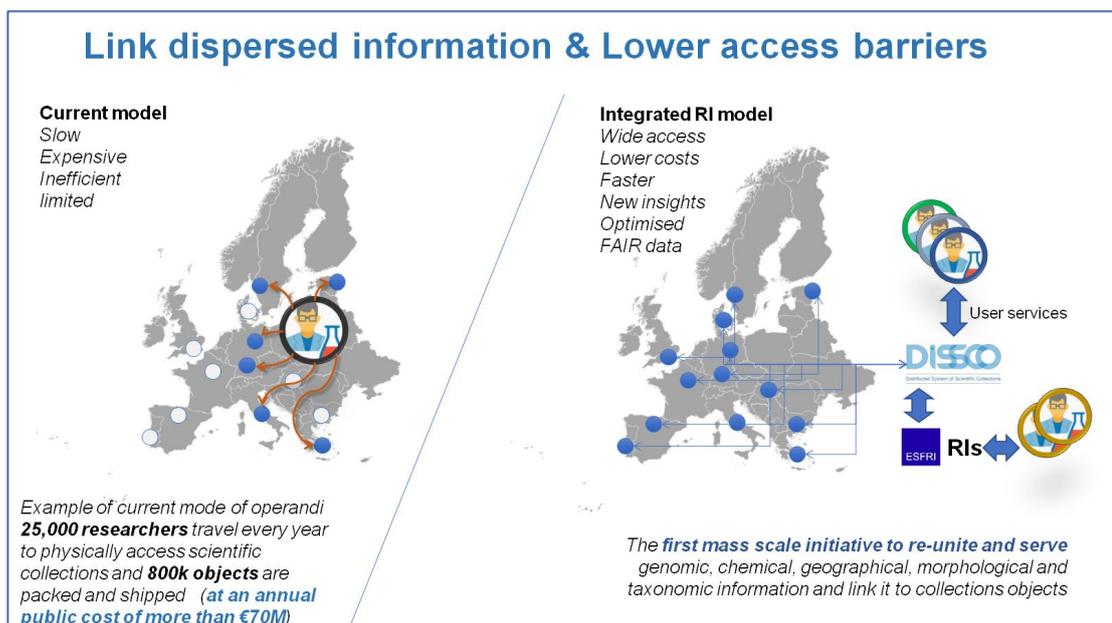


Fig. 2 - Scenario di riferimento per l'azione dell'IR-DiSSCo.

DiSSCo Italia: strategia e stato dell'arte

Dal 2010 l'ANMS (Associazione Nazionale dei Musei Scientifici), grazie ad un finanziamento del MIUR, costruisce il primo database condiviso di collezioni che vede coinvolte 91 istituzioni tra Musei ed Enti di ricerca, pubblici e privati (progetto Collmap). Questo progetto è stato ideato per la successiva integrazione di quello che sarebbe diventato poi il Network Nazionale della Biodiversità.

Collmap nasce quindi con il principale scopo di mappare tutte le collezioni presenti sul territorio italiano pubblicando, per ognuna, i metadati e la consistenza numerica di campioni, fornendo agli Enti gli standard *Natural Collection Database* (NCD) in linea con i *Biodiversity Information Standards* (TDWG, <https://www.tdwg.org/>).

A partire dal 2016 Collmap si trasforma in Collmap 2.0 grazie ad un accordo di collaborazione con la branca italiana di Lifewatch Eric e di ISPRA. (<http://collmap.isprambiente.it/>) e contempla ad oggi 430 istituzioni, tra cui il CNR-ISMAR. Tutto questo dovrebbe rientrare nel progetto Sigecweb (<https://www.catalogo.beniculturali.it/search/typeOfResources/NaturalHeritage>)

dell'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione (ICCD) che dal 1975 gestisce un database nazionale di tutti i beni afferenti al Ministero della Cultura.

L'ICCD ha posto gli standard di catalogazione per tutti i tipi di beni, ed è compito di ogni singolo Ente accreditarsi e pubblicare le schede dei propri reperti, per una trasparenza e condivisione di informazioni. Attualmente si hanno circa 65.000 schede pubblicate, principalmente da Musei e Università. DiSSCo ha la possibilità di porre ordine al sistema di catalogazione delle collezioni naturalistiche in Italia, assicurando standard univoci compatibili con il livello europeo e internazionale.

L'Italia ha costituito un consorzio per l'adesione alla IR-DiSSCo al quale il CNR ha aderito nel 2019. Il Consorzio è costituito dal Museo di Storia Naturale dell'Università di Firenze, l'Associazione Nazionale Musei Scientifici (ANMS) e il CNR. Nel Consorzio il Museo di Firenze rappresenta l'Italia in DiSSCo EU, il CNR è ente capofila del PNIR 2021-2027 con ISMAR istituto di riferimento.

A partire dal 2025, DiSSCo entrerà nella fase operativa per la creazione di una infrastruttura pan-europea pienamente operativa attraverso la formalizzazione di un ente giuridico DiSSCo ERIC (European Research Infrastructure Consortium).

Il CNR ha instaurato una collaborazione con alcune Università e Musei italiani per la costituzione di una JRU denominata DiSSCo-IT.

Il ruolo del CNR-ISMAR nell'infrastruttura di ricerca DiSSCo-IT

Il CNR-ISMAR possiede un vasto patrimonio di collezioni naturalistiche (Fig.3) in grado di portare un rilevante contributo nell'ambito della conoscenza della biodiversità e della geodiversità marine. DiSSCo rappresenta un punto di partenza per armonizzare tale patrimonio adottando gli standard internazionali.

In questo contesto è previsto lo sviluppo di un catalogo d'Istituto interoperabile e consultabile dalla comunità scientifica, integrato con il *Marine Data Center*¹ ed il *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF), e l'ampliamento del repository digitale "Archivio di Studi Adriatici" (www.archiviostudiadriatici.it). L'alto livello di competenze del CNR-ISMAR contribuirà a un notevole avanzamento della conoscenza a livello scientifico e tecnologico oltre che un alto posizionamento in una rete internazionale a più ampio respiro.

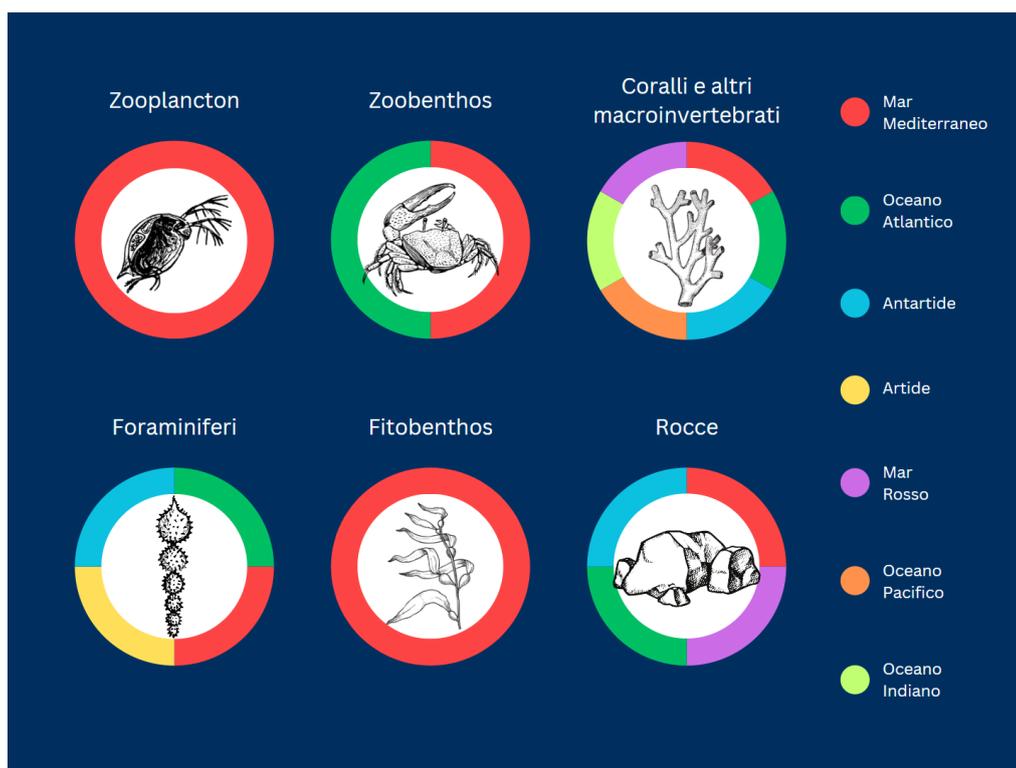
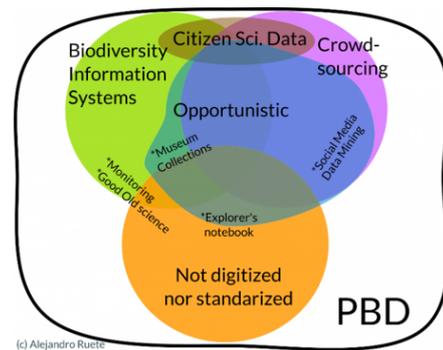


Fig. 3 – Ambiti e provenienza geografica delle collezioni naturalistiche del CNR-ISMAR.

¹ Repository dei dati delle istituzioni nazionali che studiano l'ambiente marino ed è progettato nell'ambito del progetto ITINERIS "Italian Integrated Environmental Research Infrastructure" <https://itineris.cnr.it/>

I *Primary Biodiversity Data* (PBD), i mattoni fondamentali alla base dello studio della biodiversità, comprendono, oltre ai campioni biologici, i dati di occorrenza delle specie. Gran parte di questi ultimi dati viene oggi raccolto senza l'archiviazione di corrispettivi campioni di riferimento (Troudet et al., 2018).



A fronte di tale divergenza, DiSSCo assume potenzialmente un ruolo chiave nella costellazione di sistemi informativi e servizi relativi ai dati di biodiversità. Le collezioni catalogate e rese accessibili in DiSSCo rappresentano infatti un potenziale riferimento tangibile per banche dati e inventari tassonomici, nonché strumento di formazione e studio per tassonomi e paratassonomi.

Attraverso DiSSCo si prevede inoltre il collegamento a dati tassonomici, biogeografici, genetici e relativi ai tratti delle specie, favorendo il raggiungimento degli Obiettivi dello Sviluppo Sostenibile (<https://unric.org/it/agenda-2030/>) relativamente alla conoscenza della vita sulla terra (SDG #15), la vita acquatica (SDG#14), e le azioni per la lotta al cambiamento climatico (SDG#13), contribuendo inoltre ad una formazione di qualità (SDG#4).



DiSSCo costituisce l'opportunità per instaurare un dialogo interdisciplinare con altre competenze del CNR (es. l'Istituto di Ricerca sulla Crescita Economica Sostenibile - IRCRES e l'Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale - ISPC), applicando e sviluppando nuovi strumenti di ricerca e forme di comunicazione, incluse quelle basate sull'intelligenza artificiale, la realtà aumentata, etc.

Attraverso il tema delle collezioni, il CNR-ISMAR potrà coinvolgere e formare nuove figure professionali nel campo della tassonomia, della conservazione fino alla *biodiversity informatics*, promuovere attività di divulgazione scientifica ed azioni di *Citizen Science*.

L'infrastruttura DiSSCo costituirà, inoltre, lo strumento cardine per avere un ponte tra il CNR-ISMAR ed altre istituzioni scientifiche, quali Enti di Ricerca, Università e Musei del territorio italiano e non solo. Questo contribuirà anche a colmare l'attuale carenza di competenze scientifiche e specialistiche per il settore della museologia,

trasversali alle discipline zoologiche, botaniche, paleontologiche, ed antropologiche.

Il CNR-ISMAR ha avviato una stretta collaborazione con l'Università di Firenze e gli Istituti CNR-IRSA e CNR-IBBR nell'ambito del progetto PNRR ITINERIS; grazie all'esperienza maturata e all'implementazione del nodo DiSSCo-IT, il CNR-ISMAR metterà a disposizione della comunità scientifica, di cittadini e *stakeholders* (Fig.4):

- facilities: laboratori di microscopia ottica e digitale, laboratori di biologia molecolare, sistemi di catalogazione digitale, archivio dei dati (*repository* come "Archivio di Studi Adriatici" e "Marine Data Center"), biblioteca, etc.;
- risorse: le collezioni fisiche e digitali di organismi marini, fossili, sedimenti e rocce, strumenti di digitalizzazione (scanner BookEye, ZooScan, microscopio 3D), applicazioni per analisi di immagini digitali e di intelligenza artificiale, strumenti e protocolli per studi tassonomici classici e molecolari, collaborazioni nazionali e internazionali;
- servizi scientifici digitali (tecnici e di formazione): tra i quali, accesso fisico alle collezioni, accesso remoto al *repository* "Archivio Studi Adriatici", accesso ai laboratori e supporto tecnico alla digitalizzazione, aggiornamento e compilazione dei metadati secondo standard internazionali, *expertise* scientifico per la catalogazione di metadati, competenze e *know-how* in campo tassonomico (classico e molecolare), formazione delle future generazioni di tassonomi e biologi marini.

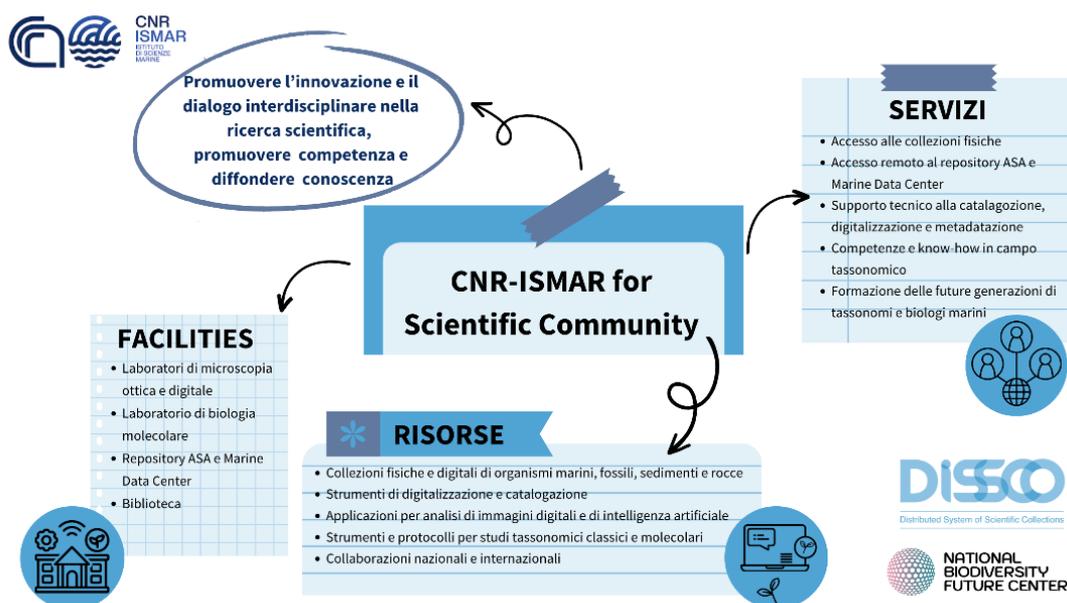


Fig. 4 - Il ruolo del CNR-ISMAR per la comunità scientifica dell'IR-DiSSCo.

L'azione del CNR-ISMAR nell'IR DiSSCo-IT potrà essere uno snodo fondamentale nel *Biodiversity Science Gateway* (BSG) del *National Biodiversity Future Center* (NBFC), di cui questa infrastruttura di ricerca rappresenterà un elemento innovativo per la creazione ed il supporto della rete di osservazione nazionale della biodiversità identificato come obiettivo operativo del BSG (Fig.5).

La comunità scientifica del CNR-ISMAR sarà di supporto alla creazione del Museo della biodiversità del BSG indirizzato alla messa a sistema di milioni di metadati su campioni di scienze naturali secondo i principi FAIR, supportando al contempo il posizionamento dell'Italia nell'ambito di DiSSCo-EU e quindi nella catena del valore della conoscenza sulla biodiversità a scala paneuropea.

Costituirà, inoltre, un punto di sviluppo per la museologia 4.0 basata su tecnologie digitali avanzate, intelligenza artificiale e strumenti immersivi per favorire il superamento dell'*emotional gap* sul problema della biodiversità supportando la partecipazione sociale.

La sede del BSG, prevista presso la palazzina canonica di Riva Sette Martiri a Venezia, costituirà un giunto tra passato e futuro attraverso l'implementazione di tecnologie digitali, potrà rappresentare quindi un attrattore di esperti legati ai temi delle collezioni naturalistiche e della biodiversità, nonché di studenti e cittadini per creare nuove opportunità di *business* per giovani talenti nel campo della biodiversità.



Fig. 5 - La palazzina canonica a Riva Sette Martiri, sede del *Biodiversity Science Gateway*.

Bibliografia

- Cowie RH, Bouchet B, Fontaine B, 2022. The Sixth Mass Extinction: fact, fiction or speculation? *Biological Reviews* 97(2): 640-663, <https://doi.org/10.1111/brv.12816>
- Elton C, 1927. *Animal Ecology*. Sidgwick and Jackson Ed, London. 209 pp.
- Gray M, 2004. *Geodiversity: Valuing and Conserving Abiotic Nature*. John Wiley & Sons. 409 pp.
- Haram L, Carlton JT, Ruiz GM, Maximenko NA, 2020. A plasticene lexicon. *Marine Pollution Bulletin* 150: 11071. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110714>
- Hutchinson GE, 1957. Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology* 22: 415–427.
- Ilechukwu I, Das RR, Reimer JD, 2023. Review of microplastics in museum specimens: An under-utilized tool to better understand the Plasticene. *Marine Pollution Bulletin* 191: 114922. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114922>
- Kolbert E, 2014. *The Sixth Extinction. An Unnatural History*. Henry Holt and Company, New York.
- Pievani T, 2014. The sixth mass extinction: Anthropocene and the human impact on biodiversity. *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali* 25(1): 85-93.
- Raunkiaer C, 1934. *The Life Forms of Plants and Statistical Plant Geography*, Oxford University Press.
- Raxworthy CJ, Smith BT, 2021. Mining museums for historical DNA: advances and challenges in museomics. *Trends in Ecology and Evolution* 36: 1049–1060. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2021.07.009>
- Thompson et al., 2021. Preserve a Voucher Specimen! The Critical Need for Integrating Natural History Collections in Infectious Disease Studies. *mBIO* 12(1): e02698-20. <https://doi.org/10.1128/mbio.02698-20>
- TrouDET J, Vignes -Lebbe R, Grandcolas P, Legendre P, 2018. The Increasing Disconnection of Primary Biodiversity Data from Specimens: How Does It Happen and How to Handle It? *Systematic Biology*, 67(6): 1110–1119, <https://doi.org/10.1093/sysbio/syy044>
- Tukiainen H, Maliniemi T, Alahuhta J, Hjort J, Lindholm M, Salminen H, Snare H, Toivanen M, Vilmi A, Heino J, 2023. Quantifying alpha, beta and gamma geodiversity. *Progress in Physical Geography* Vol. 47(1): 140–151. <https://doi.org/10.1177/030913332211147>
- Vellend M, Brown CD, Karouba HM, McCune JL, Myer-Smith IH, 2013. Historical ecology: Using unconventional data sources to test for effects of global environmental

change. American Journal of Botany 100(7): 1294-1315.
<https://doi.org/10.3732/ajb.1200503>

Wimbledon WAP, 1996. Geosites - A New Conservation Initiative. Episodes 19: 87-88.
<https://doi.org/10.18814/epiiugs/1996/v19i3/009>