

Un Modello dati per la gestione del monitoraggio ambientale delle infrastrutture

Adriana Corcelli, Fulvio Maria Soccodato, Fiorenzo Forcone

Anas SpA – Direzione Centrale Progettazione – Via Monzambano, 10 – 00185 Roma

Sommario

Il monitoraggio ambientale delle infrastrutture stradali è oggi uno strumento indispensabile per il controllo degli effetti indotti dalle opere e dalla loro cantierizzazione sull'ambiente. Le esperienze ad oggi condotte hanno suggerito l'opportunità di formalizzare un modello dati standard, da utilizzare per tutti gli interventi di realizzazione di nuove opere. Questo, oltre a consentire economia ed efficacia di gestione del singolo monitoraggio, garantisce l'immediata intelligibilità delle informazioni da parte di tutti gli attori coinvolti nel processo ed il massimo riutilizzo dei dati acquisiti, sia per la caratterizzazione del territorio che per la progettazione dell'inserimento ambientale di altre infrastrutture. Il riuso delle misure ambientali e territoriali, peraltro, costituisce un significativo vantaggio per l'implementazione di analisi geostatistiche per la definizione dei range di variabilità naturale dei parametri o per la loro stima indiretta o predittiva.

Lo studio eseguito ha portato alla definizione di un modello dati di valenza generale, ancorché di struttura complessa, a causa della ricchezza dei parametri di interesse, della loro correlazione, variabilità spaziale e temporale, qualità e diversa modalità di acquisizione. Il modello dati formalizzato è stato applicato, a titolo sperimentale, alla gestione dei dati del monitoraggio ambientale di un'importante infrastruttura stradale in corso di realizzazione, quale il tronco Squillace – Simeri Cricchi della S.S. 106 "Jonica" in Calabria.

1. Finalità ed articolazione dei Piani di Monitoraggio Ambientale

Il Monitoraggio Ambientale di un intervento di realizzazione di una nuova infrastruttura stradale è essenzialmente finalizzato a verificare la conformità alle previsioni di impatto ambientale dell'opera individuate in fase di progettazione, a verificare l'efficacia delle misure di mitigazione attuate e a garantire, durante la costruzione, il pieno controllo della situazione ambientale.

Il Piano di Monitoraggio Ambientale (PMA) ne definisce in dettaglio le attività, articolandole, generalmente, in tre fasi temporali: prima, durante e dopo i lavori di costruzione della nuova opera.

Il Monitoraggio Ante-Operam (MAO), viene eseguito prima dell'avvio dei cantieri, con lo scopo di fornire una descrizione dello stato dell'ambiente prima dei lavori da utilizzare quale termine di confronto per il riconoscimento di eventuali variazioni indotte dalle opere durante o dopo la costruzione. Il Monitoraggio in Corso d'Opera (MCO), viene eseguito contemporaneamente alla realizzazione dei lavori, al fine di documentare l'evolversi della situazione ambientale e verificare che la dinamica dei fenomeni ambientali sia coerente rispetto alle previsioni progettuali. Questo monitoraggio consente, al manifestarsi di eventuali emergenze ambientali, di intervenire tempestivamente, nei modi e nelle forme più opportune, per evitare che si producano eventi irreversibili e gravemente compromissivi della qualità dell'ambiente.

Il Monitoraggio Post-Operam o in esercizio (MPO), infine, viene eseguito dopo il completamento e la messa in esercizio delle opere, al fine di verificare gli impatti complessivi e le ricadute ambientali, nonché l'efficacia delle opere di mitigazione ambientale.

La possibilità, durante queste fasi, di formulare corrette valutazioni e trarre indicazioni operative dai dati raccolti dipende dalla significatività, affidabilità e reciproca consistenza dei risultati delle

misure in sito, dei campionamenti e delle analisi di laboratorio, dalla loro organica ed organizzata raccolta, nonché dal corretto impiego di adeguati strumenti di elaborazione. Stante l'importanza delle decisioni che dovranno essere assunte sulla base delle conclusioni delle attività di monitoraggio, l'attuazione delle attività viene, peraltro, accompagnata da una serie di attività di controllo qualità, volte a garantire la affidabilità dei dati e dei risultati ottenuti dalla loro elaborazione.

Una conoscenza approfondita del territorio attraversato da un'infrastruttura e l'identificazione dei ricettori ambientali più sensibili alle varie fasi di lavoro sono la base per l'impostazione metodologica di un Piano di Monitoraggio Ambientale e, conseguentemente, per l'ubicazione delle stazioni di monitoraggio e la definizione della frequenza e delle quantità delle campagne di misura da effettuare. La grande mole di dati ambientali, acquisiti durante i periodi temporali sopra indicati, anche molto estesi, fa sì che il monitoraggio si presenti di per se come un problema estremamente complesso a causa della varietà dei parametri di interesse, della loro correlazione e delle loro caratteristiche in termini di variazione nello spazio e nel tempo, qualità e differente modalità di acquisizione.

2. Il processo di modellazione dei dati del PMA

La rilevante mole di dati ottenuti durante le campagne di misura sono oggi usualmente trattati tramite l'implementazione di uno specifico Sistema Informativo Territoriale, di cui le norme vigenti specificano requisiti e caratteristiche di sola larga massima.

Fissare standard di riferimento per questi Sistemi e soprattutto per il database geografico delle misure, significa non solo migliorare l'intelleggibilità dei dati, semplificando le attività di tutti gli attori Istituzionali e privati coinvolti nel monitoraggio (Ministeri, Regioni, ARPA, ecc.), ma anche garantire l'integrazione dei dati provenienti da monitoraggi di opere diverse insistenti sullo stesso territorio, nonché il loro riuso anche per nuovi interventi di progettazione.

Per queste finalità si è rilevato opportuno progettare di una struttura standard, formale e sostanziale con cui rappresentare le informazioni geografiche relative alle attività di monitoraggio, organizzandole in logica di sistema informativo, concretizzandola tramite la definizione di un modello logico e di un modello fisico dei dati.

Nel modello logico si sono descritte le informazioni contenute nel database in maniera indipendente dal modo in cui esse vengono fisicamente rappresentate. Nel modello fisico invece è stata descritta la rappresentazione dell'informazione nel sistema, risultando quindi connesso e strettamente dipendente dalle caratteristiche specifiche del software di gestione in cui è stato implementato.

2.1 Il modello logico dei dati

Il modello logico dei dati è stato definito in modo da essere coerente con le esigenze di utilizzo dei dati ed al tempo stesso il più possibile indipendente dal modello fisico.

L'intento è stato ovviamente quello di consentire l'uso di strutture logiche comuni, garantendo comunque la massima modularità di sviluppo ed interoperabilità con altri sistemi.

In fase di progettazione, sono state definite tutte le classi di oggetti appartenenti al sistema e le relative sottoclassi. Per ogni classe e sottoclasse, sono stati definiti gli attributi da associare agli oggetti ad esse appartenenti, determinandone i domini, i vincoli di validità, la cardinalità e la necessità. In particolare, sono stati individuati uno o più attributi con caratteristiche di chiavi, da utilizzare per l'identificazione univoca dell'oggetto, sottoclasse e classe.

Complessivamente, il modello logico proposto si compone di entità, oggetti e simboli, che rappresentano gli oggetti/entità nel database; dove, per *entità* si intende un fenomeno di interesse della realtà che non sia più suddivisibile in fenomeni dello stesso tipo, mentre per *oggetto* si intende la sua rappresentazione digitale completa o parziale.

La principale peculiarità di un modello dati finalizzato alla gestione delle informazioni relative al monitoraggio ambientale delle infrastrutture è quella di dover contenere e definire in maniera rigorosa l'intera gamma di misure necessarie, da quelle puramente qualitative, fino a quelle

quantitative, ma tutte formalizzate in una struttura dati omogenea. A fronte, infatti, di misure ambientali prettamente quantitative, quali le misure di quota di falda, temperature, portata delle acque superficiali ecc., nel monitoraggio ambientale si presenta la necessità di gestire misure qualitative del tipo indicatori di accrescimento dell'individuo vegetale, descrizione paesaggistica del sito di interesse, ecc.

2.2 Il modello fisico dei dati

Considerato che il processo di acquisizione ed implementazione delle misure produce dei dati concreti e quindi fisicamente rappresentati, è stato necessario specificare il modello fisico con il quale i dati devono essere rappresentati. In particolare, è stata esplicitata la regola di correlazione tra un oggetto e la primitiva geometrica che ne rappresenta l'intero o una parte; è stata definita la regola di trasposizione degli attributi che assumono valori diversi sulla geometria di un oggetto sulla primitiva geometrica associata allo stesso; sono stati specificati tutti i casi prevedibili di associazione di una stessa primitiva geometrica a più di un oggetto, sia di tipo diverso oppure dello stesso tipo, al fine di evidenziare l'unicità della componente geometrica condivisa

Complessivamente, la formalizzazione della struttura del database geografico ha definito la lista delle entità cartografiche, con i relativi codici, oltre che la lista degli attributi obbligatori per ogni entità cartografica, con il relativo dominio.

3. Descrizione del modello dati utilizzato

Il fenomeno territoriale assunto a fulcro dell'intera struttura del modello dei dati (Figura 1) è l'*indagine*, ossia l'attività di esecuzione o acquisizione, diretta o indiretta, di misure qualitative o quantitative in corrispondenza di specifici punti del territorio correlati, in una determinata fase temporale, alla realizzazione di un'opera o di una sua parte, nell'ambito di una specifica campagna di monitoraggio.

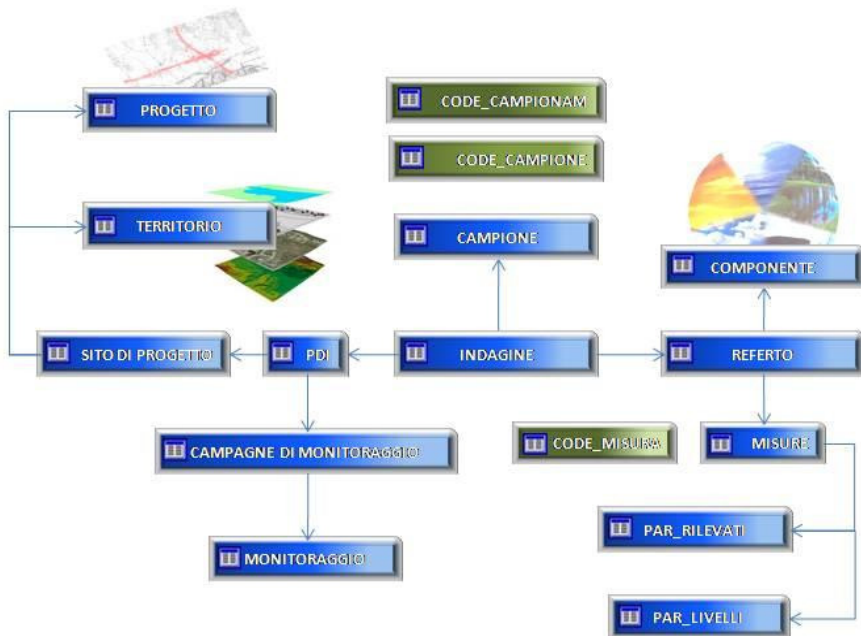


Figura 1 – Struttura del modello dati.

Tali punti, formalizzati come Punti Di Indagine (PDI), corrispondono ad uno spazio fisico correlato alle misure direttamente acquisite in situ o scaturite da analisi di laboratori su campione (es. misura di ossigeno disciolto in campione di acqua superficiale). Il PDI, indicato in uno specifico *sito di progetto*, che corrisponde ad una porzione di territorio nel quale, in una data fase, si realizza una determinata opera e, quindi, si sviluppa il *monitoraggio* ambientale articolato in *campagne di monitoraggio*, si correla alla macroclasse *progetto* - nella quale si elencano tutte le componenti necessarie alla descrizione dell'opera - ed alla macroclasse *territorio*, che comprende tutte le informazioni territoriali relative all'area di studio (Figura 2).

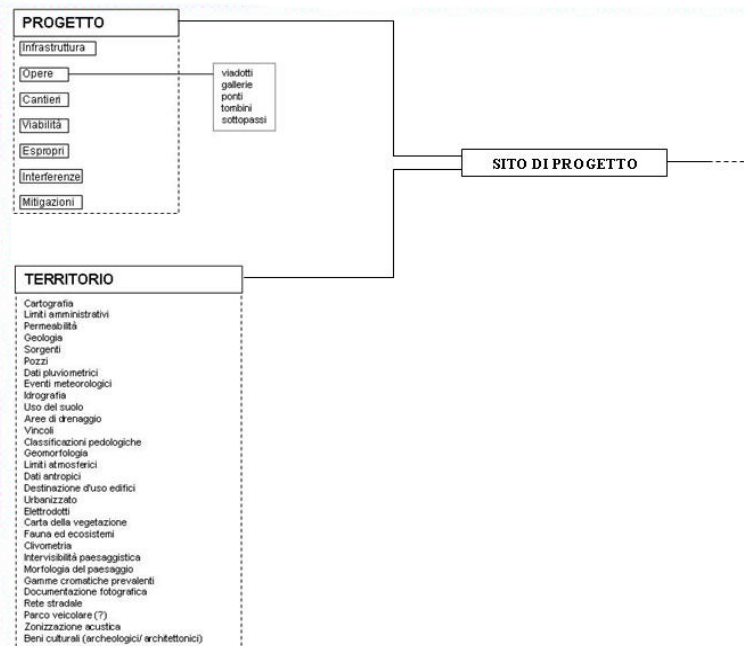


Figura 2 – Struttura dati: correlazione tra [sito di progetto]-[progetto]-[territorio].

La campagna di monitoraggio, che come detto si lega al PDI, confluisce nella macroclasse *monitoraggio*, in cui sono definite tutte le caratteristiche connesse all'operatività delle attività previste. L'indagine può essere diretta o indiretta; in particolare possono essere effettuati campionamenti e, a tale proposito, è stata prevista la classe *campioni*, che ne identifica le varie tipologie (Figura 3).

I dati acquisiti direttamente o indirettamente tramite l'indagine, sono stati codificati nella classe detta *referti*, riferibili ad una delle componenti ambientali oggetto di monitoraggio.

Dal referto discende la totalità delle misure da cui, anche in relazione ai parametri di accettabilità piuttosto che di allerta, sono estratti i valori delle componenti ambientali monitorate (Figura 4).

Fisicamente, la struttura dati standard è implementata, tramite tabelle e relazioni, in un database relazionale, la cui componente geografica può essere, indipendentemente, interna o esterna.

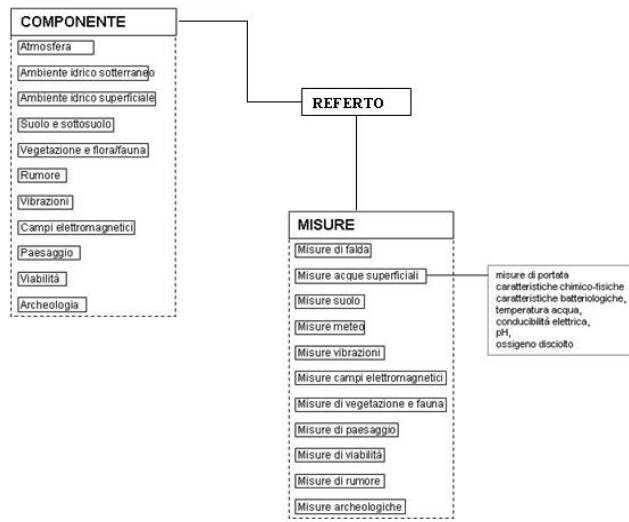


Figura 3 – Struttura dati: correlazione tra [referto]-[componente]-[misure].



Figura 4 – Struttura dati: correlazione tra [campioni]-[indagine].

4. Applicazione del modello dati al PMA della S.S. n.106 Jonica

Per verificare la completezza della struttura dati formalizzata e verificarne l’effettiva ed efficace applicabilità al monitoraggio ambientale di infrastrutture stradali, si è sperimentata l’applicazione del modello ad un caso reale. In particolare, tra le opere più rilevanti in corso di realizzazione si è scelto il tronco stradale Squillace – Simeri Crichi della S.S. 106 “Jonica” con interconnessione alla S.S. 280 e si è simulata la gestione completa del relativo Piano di Monitoraggio Ambientale.

L’area oggetto dell’intervento, riportata in Figura 5 con evidenza del tracciato delle infrastrutture in progetto, ricade nella Regione Calabria e interessa 6 comuni della Provincia di Catanzaro: Borgia, Caraffa di Catanzaro, Catanzaro, San Floro, Simeri-Crichi e Squillace.

La complessità dell’intervento e la variabilità delle caratteristiche ambientali dei territori interferiti hanno portato ad un PMA esteso, sia spazialmente che temporalmente, ed ampiamente articolato, sia in termini di componenti ambientali investigate che di misure.

Complessivamente nella struttura dati sono stati implementati 135 Punti Di Indagine, riferibili a 9 Componenti Ambientali in 18 Siti di Progetto. I dati disponibili, caricati a sistema, hanno riguardato 11 Campagne di Monitoraggio per un totale di oltre 10000 misure da referti di indagini in sito o su campioni prelevati. A titolo indicativo, nella Figura 6 sono riportati i Punti Di Indagine del PMA, distinti per componente di riferimento, con l’indicazione della tipologia spaziale: “areale”, ovvero esteso ad una fascia di indagine di ampiezza adeguata lungo l’intero tracciato di progetto, ovvero “puntuale”, ossia limitato a specifiche aree significative.

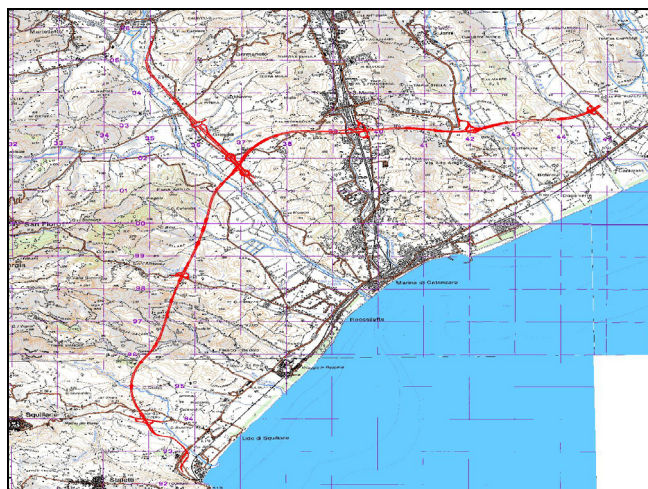


Figura 5 – Inquadramento generale dell'opera (tracciati in tratto rosso).

Componente ambientale	Numero punti misura	Tipologia misure	
		Areali	Puntuali
Atmosfera	16		X
Ambiente idrico superficiale	25		X
Ambiente idrico sotterraneo	20		X
Pedologia	17		X
Vegetazione e flora	11	X	X
Fauna	11		X
Ecosistemi	11	X	X
Rumore	21		X
Vibrazioni	3		X

Figura 6 – Componenti ambientali oggetto del PMA.

6. Conclusioni

La standardizzazione della struttura della base dati con cui implementare la gestione del monitoraggio ambientale delle infrastrutture stradali, oltre a garantire benefici operativi immediati nell'avvio e conduzione del PMA, massimizza la possibilità di riuso delle misure ambientali nell'ambito delle attività tecniche connesse sia alla realizzazione dell'opera stessa, sia alla progettazione e successiva realizzazione di altre opere nello stesso contesto territoriale o similare.

La disponibilità di ampie basi dati risulta inoltre fondamentale per lo sviluppo di tecniche di analisi geostatistica applicate al monitoraggio ambientale, finalizzare, ad esempio ad identificare il *range* di naturale variabilità di un parametro ambientale e definire quindi soglie attendibili di tolleranza degli impatti, o ad ottenere la stima di un parametro da ricostruzione spaziale o simulazione o a stimare la probabilità che un parametro superi una determinata soglia.

7. Riferimenti Bibliografici

Atzeni P., Ceri S., Paraboschi S., Torlone R., (2009), *Basi di dati - Modelli e linguaggi di interrogazione*, Edizioni McGraw-Hill Italia, Milano
 R. Ramakrishnan, J. Gehrke, (2007), *Sistemi di basi di Dati*, Edizioni McGraw-Hill Italia, Milano