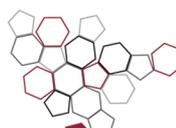




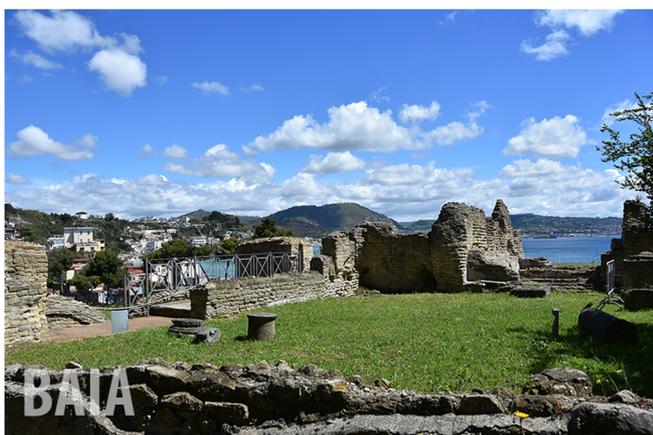
**ISPRA**

Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale



Sistema Nazionale  
per la Protezione  
dell'Ambiente

# Le attività di ISPRA per la tutela dei beni culturali: la partecipazione al progetto Artek



RA P P O R T I



**ISPRA**

Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale



Sistema Nazionale  
per la Protezione  
dell'Ambiente

# Le attività di ISPRA per la tutela dei beni culturali: la partecipazione al progetto Artek

---

---

### **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 questo rapporto.

**ISPRA** - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale  
Via Vitaliano Brancati, 48 – 00144 Roma  
[www.isprambiente.gov.it](http://www.isprambiente.gov.it)

ISPRA, Rapporti 310/2019  
ISBN 978-88-448-0958-4

Riproduzione autorizzata citando la fonte

### **Elaborazione grafica**

*Grafica di copertina:* Alessia Marinelli

*Foto di copertina:* Daniele Spizzichino, Raffaella Gaddi

ISPRA – Area Comunicazione

### **Coordinamento pubblicazione on line:**

Daria Mazzella

ISPRA – Area Comunicazione

**Luglio 2019**

---

Coordinamento del volume: Patrizia Bonanni (dipartimento VAL)

### **Autori**

Pericolosità di origine antropica:

pericolosità ambientale aria: Raffaella Gaddi, Mariacarmela Cusano, M. Francesca Fornasier, Patrizia Bonanni (Dipartimento per la valutazione, i controlli e la sostenibilità ambientale).

pericolosità per presenza di impianti a rischio di incidente rilevante: Francesco Astorri (Dipartimento per la valutazione, i controlli e la sostenibilità ambientale), Alberto Ricchiuti (Ispettorato nazionale per la sicurezza nucleare e la radioprotezione ISIN, già Dipartimento per la valutazione, i controlli e la sostenibilità ambientale).

Pericolosità di origine naturale: Carla Iadanza, Daniele Spizzichino, Alessandro Trigila (Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia).

### **Ringraziamenti**

Si ringraziano Carlo Cacace (ISCR), Rosa Lasaponara (CNR-IMAA), Andrea Bolignano (ARPA Lazio) e Antonio D'Ambrosio (ARPA Campania).

---

# INDICE

<b>INTRODUZIONE</b> .....	6
<b>1. IL PROGETTO ARTEK E I BENI CULTURALI</b> .....	7
<b>2. LA PERICOLOSITÀ E IL RISCHIO: IL CONTRIBUTO DI ISPRA</b> .....	8
2.1 Pericolosità e rischio di origine antropica.....	8
2.1.1 <i>Pericolosità e rischio ambientale aria</i> .....	8
2.1.2 <i>Pericolosità per presenza di impianti a rischio di incidente rilevante</i> .....	12
2.2 Pericolosità di origine naturale .....	13
2.2.1 <i>Sintesi della pericolosità di origine naturale nei siti ArTeK</i> .....	19
<b>3. APPLICAZIONE AI SITI PILOTA</b> .....	20
3.1 Tivoli e Villa Adriana.....	20
3.1.1 <i>Pericolosità e rischio ambientale aria</i> .....	20
3.1.2 <i>Pericolosità per presenza di impianti PIR (già RIR)</i> .....	25
3.1.3 <i>Pericolosità di origine naturale</i> .....	27
3.2 Civita di Bagnoregio.....	28
3.2.1 <i>Pericolosità e rischio ambientale aria</i> .....	28
3.2.2 <i>Pericolosità per presenza di impianti PIR (già RIR)</i> .....	31
3.2.3 <i>Pericolosità di origine naturale</i> .....	31
3.3 Monte Orlando e Gianola.....	34
3.3.1 <i>Pericolosità e rischio ambientale aria</i> .....	35
3.3.2 <i>Pericolosità per presenza di impianti PIR (già RIR)</i> .....	39
3.3.3 <i>Pericolosità di origine naturale</i> .....	40
3.4 Baia.....	43
3.4.1 <i>Pericolosità e rischio ambientale aria</i> .....	43
3.4.2 <i>Pericolosità per presenza di impianti PIR (già RIR)</i> .....	45
3.4.3 <i>Pericolosità di origine naturale</i> .....	46

---

3.5 Matera.....	48
3.5.1 Pericolosità e rischio ambientale aria.....	48
3.5.2 Pericolosità per presenza di impianti PIR (già RIR).....	51
3.5.3 Pericolosità di origine naturale.....	52
<b>CONCLUSIONI</b> .....	53
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	54

---

## INTRODUZIONE

ArTeK (Satellite Enabled Services for Preservation and Valorisation of Cultural Heritage) è un progetto finalizzato a fornire uno strumento che permetta di monitorare lo stato di conservazione e il rischio di degrado dei beni culturali inseriti in uno specifico contesto ambientale.

L'obiettivo del progetto è quello di fornire una piattaforma informatica a supporto della salvaguardia dei siti di interesse culturale che necessitano di particolari controlli se minacciati da fattori ambientali (naturali o antropici).

ISPRA da circa venti anni si occupa, in collaborazione con ISCR (Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro, MiBAC), di valutare l'impatto di eventi di origine naturale e antropica sui beni culturali. All'interno di tali attività si colloca la sua partecipazione a questo progetto, finanziato dall'ESA (Agenzia Spaziale Europea) con il sostegno di ASI (Agenzia Spaziale Italiana) nell'ambito del programma ARTES 20 IAP. Il progetto è iniziato nel Novembre 2016 ed è terminato nel Dicembre 2018.

ArTeK è stato sviluppato da NAIS S.r.l (Nextant Applications and Innovative Solutions), coordinatore del progetto, e ha visto la collaborazione di ISCR, ISPRA, CNR-IMAA (Consiglio Nazionale per le Ricerche – Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale), SUPERELECTRIC S.r.l., STRAGO S.p.A., ENAV (Ente Nazionale per l'Assistenza al Volo) e ipTronix s.r.l.

Il progetto ha utilizzato in modo integrato differenti tecnologie di osservazione sia satellitare che in situ e raccolto dati provenienti da differenti fonti istituzionali (ISPRA e ISCR) allo scopo di monitorare lo stato di specifici siti pilota selezionati, per la fase dimostrativa del progetto, sulla base delle loro caratteristiche territoriali: Villa Adriana e il centro storico di Tivoli (Tivoli), Civita di Bagnoregio (Bagnoregio), il Parco Regionale Urbano di Monte Orlando e l'area archeologica di Gianola (Gaeta e Formia), l'area archeologica di Baia (Bacoli) e Matera.

---

## 1. IL PROGETTO ARTEK E I BENI CULTURALI

Il patrimonio culturale rappresenta un “asset” economico prezioso che deve essere ispirato a strategie di conservazione, sviluppo e valorizzazione sostenibili. Ciò è estremamente importante per tutti i paesi in generale e in particolare per l'Italia in quanto depositaria di uno straordinario patrimonio culturale, rappresentato non solo dai “gioielli” più noti e ampiamente visitati, ma anche da siti meno famosi identificabili come "siti minori" disseminati su tutto il territorio. Questa caratteristica ha portato alla definizione del cosiddetto modello di "Patrimonio/Museo Diffuso", il cui sviluppo renderebbe il Paese ancora più competitivo nel settore del mercato turistico. In questo contesto, è essenziale garantire la conservazione e il godimento del patrimonio come risorsa unica (non rinnovabile) da proteggere non solo per le generazioni future, ma anche ai fini di uno sfruttamento economico sostenibile associato a sviluppi culturali e sociali. Promuovere, proteggere e comunicare i Beni Culturali, inoltre, aiuta a consolidare i processi di identità, coesione e inclusione sociale delle comunità locali.

Sfortunatamente, il patrimonio culturale è particolarmente fragile a causa della sua esposizione a continue minacce ambientali naturali e antropiche. Cambiamenti climatici, eventi naturali avversi, sostanze inquinanti, espansione urbana, sfruttamento agricolo dei terreni, deformazioni del terreno, scavi illegali e saccheggi associati, sono solo alcuni dei principali fattori che minacciano la conservazione e la valorizzazione delle proprietà culturali nel mondo.

Questa situazione ambientale suggerisce l'adozione di processi di monitoraggio che, sfruttando anche le capacità offerte dalle nuove tecnologie spaziali (telerilevamento satellitare, telecomunicazioni e navigazione), permettano di valutare in modo speditivo (anche se preliminare) il livello di criticità e reagire prontamente a situazioni potenzialmente pericolose e/o attivare efficaci interventi di mitigazione.

Le autorità nazionali e locali che gestiscono beni architettonici, archeologici e storico-artistici necessitano di una serie completa e aggiornata di geoinformazioni, metodi e strumenti che migliorino la consapevolezza dello stato di conservazione dei beni e della potenziale aggressività dell'ambiente in cui questi sono localizzati, al fine di pervenire ad un loro restauro preventivo e a una loro manutenzione programmata. La parola "programmazione" è qui usata nel suo significato letterale di ottenere informazioni utili per prevedere e, quindi, decidere in anticipo quali misure devono essere prese più urgentemente al fine di evitare perdite e danni, in relazione sia al tempo necessario per l'esecuzione, sia alle spese da sostenere che al budget a disposizione.

I siti culturali, specialmente quelli più importanti, devono poi affrontare anche la complessa coesistenza tra conservazione del patrimonio e sviluppo del turismo potenziale fonte di deterioramenti e danni. Per far fronte a queste necessità i gestori necessitano quindi anche di strumenti che li supportino nella gestione materiale del sito (ad esempio nel monitoraggio del numero dei visitatori e della loro localizzazione in tempo reale all'interno del sito stesso) e che soddisfino contemporaneamente anche le esigenze di conservazione del bene.

Il progetto ArTeK è nato con l'obiettivo di fornire tali strumenti, utilizzando informazioni ottenute attraverso l'osservazione della terra da sensori satellitari (SAT-EO), la comunicazione satellitare (SAT-COM), le tecnologie di navigazione satellitare (SAT-NAV), la sensoristica montata su droni, la strumentazione in situ, le banche dati ambientali nazionali e regionali.

Il progetto ArTeK è durato due anni ed è stato finanziato dall'ESA (Agenzia Spaziale Europea) con il sostegno di ASI (Agenzia Spaziale Italiana); ha visto come coordinatore la NAIS (Nextant Applications and Innovative Solutions) una PMI del Lazio e ha avuto come partner l'ISCR (Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro), l'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), il CNR-IMAA (Consiglio Nazionale per le Ricerche – Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale), l'ENAV (Ente Nazionale per l'Assistenza al Volo), SUPERELECTRIC s.r.l., STRAGO s.p.a. e ipTronix s.r.l.

ArTeK ha implementato una piattaforma di servizi che comprende strumenti per:

- identificare e valutare le minacce naturali e antropiche (pericolosità e rischio) al patrimonio culturale;

- 
- valutare le condizioni e lo stato di suscettibilità (vulnerabilità) del sito al fine di supportare il processo decisionale nell'ottica del restauro preventivo e della manutenzione programmata;
  - gestire, condividere e diffondere a diversi *stakeholder* (istituzioni, industrie, cittadini, uffici, musei, protezione civile, ecc ...) informazioni rilevanti su potenziali minacce, valutazioni, condizioni e misure di conservazione implementate o programmate;
  - monitorare i flussi di visitatori per la salvaguardia del sito e la loro sicurezza (attraverso la navigazione satellitare).

L'osservazione satellitare terrestre è stata utilizzata per identificare e valutare i fattori di pressione sia naturali che antropici che hanno un potenziale impatto negativo sui beni culturali, identificare i cambiamenti intervenuti nel corso del tempo, consentire le valutazioni delle condizioni del sito.

Il telerilevamento aereo, ad esempio su piattaforme aeree senza equipaggio (droni), opportunamente preceduto da valutazioni satellitari preliminari, è stato utilizzato in casi specifici quando la risoluzione spaziale richiesta era superiore a quella offerta dai sensori spaziali.

Le telecomunicazioni via satellite hanno consentito inoltre la trasmissione di dati specifici dei sensori installati in situ al centro di monitoraggio e controllo ArTeK per realizzare, quando richiesto, un monitoraggio in tempo reale.

## **2. LA PERICOLOSITÀ E IL RISCHIO: IL CONTRIBUTO DI ISPRA**

ISPRA dalla fine degli anni 90' ha in atto una collaborazione con ISCR attualmente regolata da un Protocollo d'Intesa che vede la partecipazione del Dipartimento per la valutazione, i controlli e la sostenibilità ambientale (VAL), che è anche coordinatore, e del Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia (GEO). Il Protocollo ha come obiettivo, attraverso la messa a comune da parte dei due Enti di conoscenze e competenze specifiche, la valutazione e quantificazione del danno causato dall'inquinamento atmosferico e da altri fattori di pressione ambientali, quali eventi di origine naturale e/o antropica, al patrimonio culturale italiano.

In particolare il Dipartimento VAL studia ed elabora valutazioni sull'impatto dell'inquinamento atmosferico e di altri fattori di origine antropica, mentre il Dipartimento GEO studia e valuta l'impatto dei fenomeni di origine naturale.

Per valutare la pericolosità e il rischio collegati al territorio sia a causa di fenomeni naturali che indotti dall'uomo, ISPRA ha gestito l'accesso ai dati ambientali nazionali.

Le informazioni raccolte sono state utilizzate, in particolare, per la caratterizzazione del territorio e per la definizione delle pericolosità di origine antropica (stima del danno causato dall'inquinamento atmosferico e associato alla presenza di stabilimenti a rischio di incidente rilevante) e di origine naturale (eventi franosi, dissesto idrogeologico, terremoti, eruzioni etc.).

### **2.1 Pericolosità e rischio di origine antropica**

Nel progetto ArTeK, il potenziale danno causato ai beni culturali dalle attività umane è stato analizzato stimando, per ciascun sito pilota, la pericolosità e il rischio connesso all'inquinamento atmosferico (di seguito denominati pericolosità e rischio ambientale aria) e la pericolosità collegata alla presenza di impianti a rischio di incidente rilevante nelle immediate vicinanze del sito stesso.

I dati utilizzati per l'elaborazione degli indicatori di pericolosità e di rischio sono provenienti dalle banche dati di ISPRA e della rete di monitoraggio del Servizio Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (SNPA).

#### **2.1.1 Pericolosità e rischio ambientale aria**

La pericolosità e il rischio associati alla presenza di sostanze inquinanti in atmosfera sono stati stimati, in ArTeK, sulla base del metodo descritto nel progetto Carta del Rischio del Patrimonio Culturale (CdR), redatto nel 1996 dall'Istituto Superiore per la Conservazione e il Restauro (ISCR).

---

Nella CdR, il calcolo del rischio è elaborato secondo una logica deterministica di causa e effetto (ICR vol.1, 1996; Corcelli et al., 2008), che si basa su due componenti principali:

- la **Pericolosità Territoriale (P)**, una funzione che indica il livello di potenziale aggressione caratteristico di una data porzione di territorio, indipendentemente dalla presenza o meno di beni;
- la **Vulnerabilità Individuale (V)** del bene, una funzione che indica il livello di esposizione di un dato bene all'aggressione dei fattori territoriali ambientali.

Nella CdR, il modello di rischio è stato costruito individuando tre domini di pericolosità (statico-strutturale, ambientale-aria e antropico)<sup>1</sup> e tre livelli di rischio (territoriale, individuale e locale)<sup>2</sup> (ICR vol.4 1996; Cacace et al., 2014).

In ArTeK, è stata elaborata la pericolosità nel dominio ambientale aria, attraverso la stima del danno associato a due forme di degrado frequentemente riscontrabili sui materiali di natura calcarea: la **recessione superficiale** e l'**annerimento**.

La combinazione tra i dati di pericolosità e le informazioni relative alla distribuzione e allo stato di conservazione dei beni architettonici ed archeologici presenti nei siti di studio, ha consentito la stima del rischio nei tre livelli di approfondimento precedentemente citati.

Per i siti pilota del progetto sono stati quindi elaborati i seguenti indicatori:

- a) pericolosità territoriale da recessione superficiale;
- b) pericolosità territoriale da annerimento;
- c) rischio territoriale, rischio individuale e rischio locale.

#### ***a) Pericolosità territoriale da recessione superficiale***

La recessione superficiale rappresenta la misura diretta della perdita di materiale causata dall'azione sinergica degli inquinanti atmosferici e dei fattori climatici caratteristici di un determinato territorio.

Per la stima della recessione superficiale, in letteratura, sono disponibili differenti algoritmi ricavati prevalentemente in maniera sperimentale.

In ArTeK, per stimare la perdita di materiale dei beni culturali (architettonici ed archeologici) presenti nei siti pilota, è stata utilizzata la funzione di danno definita dal progetto europeo MULTIASSESS (Model for *multi-pollutant* impact and assessment of threshold levels for cultural heritage, 2007) nell'ambito del programma internazionale ICP Materials, International Co-operative Programme on Effects on Materials, including Historic and Cultural Monuments (Mapping of Effects on Cultural Heritage, 2015).

La funzione MULTIASSESS<sup>3</sup> (1) consente la quantificazione della recessione superficiale dei materiali lapidei (indicata con R) in funzione delle precipitazioni, del pH della pioggia, dell'umidità relativa e delle concentrazioni di biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>), di acido nitrico (HNO<sub>3</sub>) e del particolato atmosferico (PM<sub>10</sub>) (Multiassess, 2007; De la fuente et al., 2011).

$$R=4+0.0059[SO_2]RH_{60}+0.054Rain[H^+]+0.078[HNO_3]RH_{60}+0.0258PM_{10} \quad (1)$$

---

<sup>1</sup>Pericolosità statico-strutturale: definita dalle caratteristiche geomorfologiche del suolo e del sottosuolo; pericolosità ambientale aria: definita dai fattori climatici, microclimatici e dagli inquinanti dell'aria; pericolosità antropica: definita dall'uso e dalla sicurezza.

<sup>2</sup>Rischio territoriale: stato di suscettibilità al processo di degrado che caratterizza il territorio nel quale è collocato un *aggregato* di beni<sup>4</sup> calcolato in funzione dei livelli di pericolosità territoriale (P) e delle caratteristiche dell'aggregato di beni considerato, per esempio il numero di monumenti (n),  $R_t = n P$ .

Rischio individuale: stato di suscettibilità al processo di degrado di un singolo bene<sup>5</sup> ed è rappresentato dal prodotto tra la pericolosità a livello di comune (P) e la vulnerabilità (stato di conservazione) del bene k-esimo ( $V_k$ ), presente sul territorio in quel dato comune,  $R_i = V_k P$

Rischio locale: si riferisce, come quello individuale, al singolo bene, ma la pericolosità viene calcolata a livello locale sub-comunale, moltiplicando la pericolosità ( $P_l$ ) nell'intorno del bene, per la vulnerabilità ( $V_k$ ) del bene stesso,  $R_l = V_k P_l$ .

<sup>3</sup>R = recessione superficiale nell'unità di tempo ( $\mu\text{m}/\text{anno}$ );  $[SO_2]$  = concentrazione di SO<sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ );  $RH_{60}$  = misura dell'umidità relativa quando  $RH > 60$ , altrimenti = 0; Rain = precipitazioni (mm/anno);  $[H^+] = 10^{-3-pH}$ , concentrazione di H<sup>+</sup> nelle precipitazioni (mg/l);  $[HNO_3]$  = concentrazioni di HNO<sub>3</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) calcolate mediante la formula  $HNO_3 = 516 \times e^{-3400/(T+273)} ([NO_2] \times [O_3] \times Rh)^{0.5}$ ; PM<sub>10</sub> = concentrazione di particolato atmosferico ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

In base ai valori tollerabili di recessione superficiale riportati in letteratura (Working Group on Effects WGE, 2009) è stato possibile definire le tre classi di pericolosità da recessione superficiale riportate nello schema di figura 2.1.1.1.

P <sub>1</sub>		R ≤ 6.4 μm	→	Bassa
P <sub>2</sub>		6.4 < R ≤ 8 μm	→	Media
P <sub>3</sub>		R > 8 μm	→	Alta

**Figura 2.1.1.1** - Classi di pericolosità territoriale da recessione superficiale

Per il progetto ArTeK, l'elaborazione della recessione superficiale è stata effettuata raccogliendo ed elaborando i dati di concentrazione media annua di biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>), particolato atmosferico (PM<sub>10</sub>) e, per la stima di HNO<sub>3</sub>, le concentrazioni di biossido di azoto (NO<sub>2</sub>) ed ozono (O<sub>3</sub>).

Per quanto riguarda i fattori meteorologici sono stati raccolti i dati delle precipitazioni totali annue e le medie annue dell'umidità relativa e della temperatura registrate o stimate nei siti oggetto di studio.

I dati di pH sono provenienti dalla banca dati EBAS gestita dal Norwegian Institute for Air Research (NILU).

### **b) Pericolosità territoriale da annerimento**

L'annerimento dei materiali in opera è causato dalla deposizione e dall'accumulo, sulle superfici esposte, di particolato atmosferico.

Lo studio della velocità di sporcamento dei materiali calcarei è stato oggetto di molteplici lavori realizzati a livello internazionale (Grossi e Brimblecombe, 2007) ma, al momento, non è stata ancora definita una funzione di danno, di valenza generale, in grado di descrivere il complesso fenomeno di annerimento di una superficie in funzione della concentrazione di particolato aerodisperso.

Per il progetto ArTeK si è deciso di applicare la funzione dose-risposta ricavata sperimentalmente da ISPRA nell'ambito di una campagna di monitoraggio realizzata a Roma dal 2013 al 2016 (Gaddi et al., 2017). Secondo quanto ricavato dalla sperimentazione, lo sporcamento di superfici verticali può essere espresso come variazione della luminosità L\*<sup>4</sup> attraverso la seguente relazione<sup>5</sup>:

$$\Delta L / L_0^* = (1 - \exp -\lambda C_{PM10} t) \quad (2)$$

I dati di annerimento (espresso come variazione percentuale di luminosità in un anno) ottenuti mediante la relazione (2), sono stati suddivisi in tre classi di pericolosità riportate nello schema di figura 2.1.1.2 (Working Group on Effects WGE, 2009).

P <sub>1</sub>		ΔL/L ≤ 2 %	→	Bassa
P <sub>2</sub>		2% < ΔL/L ≤ 3.5 %	→	Media
P <sub>3</sub>		ΔL/L > 3.5 %	→	Alta

**Figura 2.1.1.2** - Classi di pericolosità territoriale da annerimento

Per l'elaborazione dell'annerimento sono stati utilizzati i dati di concentrazione media annua di particolato atmosferico (PM<sub>10</sub>) stimata nei siti oggetto di studio.

### **c) Rischio territoriale, rischio individuale e rischio locale**

Le pericolosità da recessione superficiale e da annerimento sono state successivamente combinate con le informazioni relative alla distribuzione e allo stato di conservazione dei beni georeferiti nella banca dati VIR (Vincoli in Rete)<sup>6</sup>.

<sup>4</sup> Nel sistema colorimetrico CIELab, L\* (Luminosità) indica il livello di intensità della sensazione visiva ed è espressa con un numero da 0 (nero) a 100 (bianco).

<sup>5</sup> ΔL\* = variazione di luminosità; L<sub>0</sub>\* = luminosità iniziale; λ = costante dose-risposta di annerimento (2 x 10<sup>-6</sup> m<sup>3</sup>/μg giorno); C<sub>PM10</sub> = concentrazione di particolato atmosferico (μg/m<sup>3</sup>); t = tempo (in giorni)

<sup>6</sup> <http://vincolinrete.beniculturali.it/>

In questo modo è stato possibile definire il rischio territoriale e il rischio individuale/locale degli edifici architettonici e dei siti archeologici presenti nelle aree considerate nel progetto.

Il *rischio territoriale*, associato a ciascuno dei due fenomeni di degrado, è stato ottenuto combinando i dati di pericolosità territoriale a livello comunale (P) con il numero di beni (n) presenti nell'area considerata.

Per ottenere le classi di rischio territoriale, il numero dei beni georeferiti nei siti pilota è stato suddiviso in tre classi  $n_0$ ,  $n_1$  e  $n_2$ <sup>7</sup>.

Combinando le tre classi di pericolosità territoriale ( $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ ) con  $n_0$ ,  $n_1$  e  $n_2$ , sono state ricavate le classi di rischio territoriale (RT) di seguito riportate (Figura 2.1.1.3):

RT <sub>0</sub>		( $n_0 P_1, P_2, P_3$ )	Nulla
RT <sub>1</sub>		( $n_1 P_1$ )	Basso
RT <sub>2</sub>		( $n_1 P_2$ )	Medio-basso
RT <sub>3</sub>		( $n_2 P_1; n_1 P_3$ )	Medio
RT <sub>4</sub>		( $n_2 P_2$ )	Medio-alto
RT <sub>5</sub>		( $n_1 P_3; n_2 P_3$ )	Alto

**Figura 2.1.1.3 - Classificazione del rischio territoriale**

Le classi di pericolosità territoriale sono state inoltre utilizzate per la definizione del *rischio individuale* associato alla recessione superficiale e all'annerimento, stimato combinando la pericolosità territoriale a livello comunale (P) per il dato di vulnerabilità (V)<sup>8</sup> del singolo bene ricavato da ISCR mediante una schedatura realizzata in situ (Accardo et al., 2000; Cacace e Fiorani, 2008), di alcuni beni architettonici e archeologici presenti nelle aree oggetto di studio.

Per il sito di Matera, data la disponibilità di dati di concentrazione di particolato atmosferico ad alta risoluzione, è stato possibile calcolare il *rischio locale* per l'annerimento, ottenuto combinando la vulnerabilità del singolo bene per la pericolosità territoriale stimata nell'intorno del bene stesso.

Per la stima del rischio individuale e locale, i valori di vulnerabilità utilizzati sono stati raccolti nelle seguenti classi:

1) per i beni architettonici:

V <sub>1</sub>	→	V <sub>sup</sub> < 0	Bassa
V <sub>2</sub>	→	V <sub>sup</sub> = 0	Media
V <sub>3</sub>	→	V <sub>sup</sub> > 0	Alta

con V<sub>sup</sub> = vulnerabilità superficiale<sup>9</sup>

2) per i beni archeologici:

V <sub>1</sub>	→	V <sub>glob</sub> < 3	Bassa
V <sub>2</sub>	→	3 < V <sub>glob</sub> ≤ 5	Media
V <sub>3</sub>	→	V <sub>glob</sub> > 5	Alta

con V<sub>glob</sub> = vulnerabilità globale<sup>10</sup>

Per la recessione superficiale e per l'annerimento, combinando le classi di vulnerabilità con le tre classi di pericolosità comunale/locale, sono state ricavate le seguenti classi di rischio individuale/locale: basso (V<sub>1</sub> P<sub>1</sub>); medio-basso (V<sub>1</sub> P<sub>2</sub>); medio (V<sub>2</sub> P<sub>1</sub>, V<sub>3</sub> P<sub>1</sub>, V<sub>1</sub> P<sub>3</sub>); medio-alto (V<sub>2</sub> P<sub>2</sub>, V<sub>2</sub> P<sub>3</sub>, V<sub>3</sub> P<sub>2</sub>); alto (V<sub>3</sub> P<sub>3</sub>).

<sup>7</sup> I tre gruppi di beni  $n_0$  (con  $n=0$ ),  $n_1$  (con  $n=1$ ) e  $n_2$  (con  $n>1$ ) sono stati individuati considerando il valore di riferimento  $n_i$  ottenuto dal rapporto tra il numero totale di beni presenti in Italia attualmente georeferiti nella banca dati VIR e la superficie totale nazionale.

<sup>8</sup> Il valore della vulnerabilità indica lo stato di conservazione di un bene; più grande è la vulnerabilità e peggiore è lo stato di conservazione del bene considerato.

<sup>9</sup> Nel dominio ambientale aria, la vulnerabilità dei beni architettonici è definita dalla vulnerabilità superficiale che descrive il danno di un bene in relazione agli elementi che caratterizzano il suo aspetto "superficiale".

<sup>10</sup> Nella Carta del Rischio, i beni archeologici sono analizzati in funzione della vulnerabilità globale che oltre al danno considera anche l'uso, la manutenzione, la protezione e l'eventuale presenza di coperture di protezione del bene.

---

### ***2.1.2 Pericolosità per presenza di impianti a rischio di incidente rilevante***

Si definisce stabilimento a Rischio di Incidente Rilevante (RIR o anche, secondo la più recente e pertinente definizione normativa, stabilimento PIR, ovvero con Pericoli di Incidente Rilevante) il sito ove vengono svolte attività, industriali o di altro genere, caratterizzate dall'uso e/o dalla detenzione di significativi quantitativi di determinate sostanze pericolose, individuate nella normativa di riferimento (Direttiva europea Seveso III e relativo recepimento nazionale D.lgs.105/2015).

L'uso e/o la detenzione di grandi quantità di sostanze pericolose, che per le loro caratteristiche sono classificate come tossiche e/o infiammabili e/o esplosive e/o comburenti e/o pericolose per l'ambiente, può condurre alla possibile evoluzione non controllata di un incidente, con pericolo grave, immediato o differito, sia per l'uomo (all'interno o all'esterno dello stabilimento), sia per i recettori ambientali ed i beni, ivi compresi i beni culturali, presenti nell'area circostante.

Pertanto, al fine di ridurre la probabilità di accadimento degli incidenti e limitarne le conseguenze, i gestori degli stabilimenti con pericoli di incidente rilevante devono adempiere a precisi obblighi al fine di renderli il più possibile sicuri, come la predisposizione di documenti tecnici e informativi specifici, con previsione di sanzioni amministrative e penali in caso di omissione, come la presentazione di una "notifica", integrata da un modulo informativo (Allegato 5 del D.Lgs. 105/2015), che deve riportare informazioni sulle attività svolte, sulle sostanze pericolose presenti, sulle misure di sicurezza adottate e sugli scenari incidentali ipotizzabili associati alle aree di potenziale danno.

Oltre a ciò gli stabilimenti sono sottoposti a controlli e ispezioni da parte dell'Autorità pubblica.

Le disposizioni contenute nel D.Lgs.105/2015 mirano infatti a comporre un quadro complessivo ed esauriente in materia di controlli, con la previsione di un sistema informativo, la cui predisposizione ed aggiornamento sono stati affidati ad ISPRA, disponibile in rete e consultabile dalle Autorità pubbliche a vario titolo coinvolte (prefetture, articolazioni regionali e provinciali del Corpo Nazionale dei Vigili del fuoco, regioni, comuni, ecc.), che raccoglie e gestisce le informazioni contenute dalle notifiche trasmesse dai gestori degli stabilimenti PIR.

Tali informazioni, messe in relazione con le caratteristiche di vulnerabilità del territorio circostante ogni stabilimento, consentono di ottenere una mappatura dei pericoli, da utilizzare per la pianificazione del territorio, per l'informazione alla popolazione e per la gestione delle emergenze.

Dalle informazioni contenute nell'Inventario nazionale, attraverso opportune elaborazioni, è possibile ottenere alcuni indicatori, quali:

- distribuzione a livello provinciale e regionale degli stabilimenti con pericoli di incidente rilevante (distinti in base alle quantità di sostanze pericolose presenti in stabilimenti di soglia inferiore e soglia superiore, assoggettati a diversi obblighi); tale indicatore, molto semplice e facile da interpretare, è in grado di descrivere il trend in atto per quanto riguarda l'evolversi delle pressioni dovute a questa particolare tipologia di attività antropiche sull'area vasta in cui sono ubicate;
- elenco dei comuni nel cui territorio sono presenti stabilimenti con pericoli di incidente rilevante con obbligo di notifica, nonché il numero degli stabilimenti presenti in ciascun comune.

Con questo indicatore viene ristretta l'area dell'analisi, prendendo come riferimento una realtà territoriale meno estesa quale il comune; esso consente, in particolare, di evidenziare le aree in cui si riscontra una particolare concentrazione di stabilimenti con pericoli di incidente rilevante, con effetti sulla pianificazione del territorio e sulla destinazione e l'utilizzazione dei suoli (occorre infatti mantenere opportune distanze di sicurezza tra gli stabilimenti PIR e le zone residenziali e commerciali);

- tipologie di stabilimenti con pericoli di incidenti rilevanti, dalla cui conoscenza è possibile ottenere importanti informazioni sulla mappa dei pericoli e dei rischi industriali a livello nazionale e locale; l'attività di uno stabilimento permette, infatti, di conoscere preventivamente, sia pure in modo qualitativo, il potenziale pericolo ad esso associato, stimando la natura prevalente dei rischi cui sono conseguentemente esposti nell'area circostante ogni stabilimento l'uomo, l'aria, il suolo, il sottosuolo, la falda, le acque superficiali ed i beni, inclusi i beni culturali.

---

Ai sensi del D.lgs.105/2015 gli stabilimenti Seveso sono suddivisi in 38 categorie di attività, più una trentanovesima categoria (ALTRO) comprendente tutte le attività non rientranti nelle precedenti, sulla base del codice NACE, il sistema di classificazione generale utilizzato per sistematizzare e uniformare le definizioni delle attività economico/industriali negli Stati membri dell'Unione Europea.

Dall'appartenenza di uno stabilimento a una delle sopraelencate categorie è possibile risalire alla natura dei pericoli a questo associabili. Così ad es. i depositi di stoccaggio di combustibili e gas liquefatti e i depositi di esplosivi e articoli pirotecnici sono caratterizzati, per esempio, da un prevalente rischio di incendio e/o esplosione con effetti riconducibili, in caso di incidente, principalmente a irraggiamenti e sovrappressioni più o meno elevati e quindi con potenziali danni strutturali ad impianti, edifici e beni e danni fisici per l'uomo; gli impianti chimici, gli impianti di produzione di prodotti farmaceutici, i depositi di stoccaggio di pesticidi, biocidi e fungicidi associano al rischio di incendio e/o esplosione, come i precedenti, il rischio di diffusione di sostanze tossiche, anche a distanza, e quindi la possibilità di pericoli, immediati e/o differiti nel tempo, per l'uomo e per l'ambiente. Gli impianti di lavorazione e trattamento dei metalli, gli impianti di stoccaggio di oli minerali, e quelli per il trattamento e smaltimento dei rifiuti sono invece normalmente caratterizzati da un prevalente rischio di danno ambientale con possibili conseguenze e danni indiretti sulla salute dell'uomo e, in alcuni casi, minaccia anche per i beni, inclusi quelli culturali (ad es. per sversamenti massicci di idrocarburi con dispersione sul suolo e trasporto e diffusione nei corsi d'acqua).

Accoppiando a questo indicatore le informazioni sulle distanze di danno, pure riportate nelle notifiche e quindi nell'Inventario nazionale, è possibile valutare il potenziale coinvolgimento o meno dei beni in caso di incidente rilevante e, nel caso, predisporre adeguate misure per la prevenzione dell'evento originatore dell'incidente e per la limitazione delle sue conseguenze, anche attraverso specifica protezione che riduca la vulnerabilità del bene esposto.

## 2.2 Pericolosità di origine naturale

La **Pericolosità** naturale rappresenta la probabilità di occorrenza di un fenomeno potenzialmente distruttivo, di una determinata intensità in un dato periodo di tempo e in una data area (Varnes, 1984).

Il **Rischio**, inteso come valore atteso ad esempio delle perdite umane, dei feriti, dei danni alla proprietà e delle perturbazioni alle attività economiche dovuti a un particolare fenomeno naturale (Canuti & Casagli, 1996) è ottenuto come prodotto della pericolosità per le conseguenze attese, ovvero

$$R = P \cdot V \cdot E$$

dove **P** è la **pericolosità naturale** sopra descritta, **E** l'esposizione ovvero gli **elementi a rischio** (valore economico o numero di unità di una data categoria di elementi esposti) e **V** la **vulnerabilità** ovvero il grado di perdita atteso dell'elemento a rischio, espresso da un numero compreso tra 0 (nessuna perdita) e 1 (perdita totale).

Sul tema dei Beni Culturali a rischio idrogeologico, l'ISPRA e l'Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro (ISCR) svolgono da diversi anni attività di ricerca e studio nell'ambito di un protocollo di intesa stipulato tra i due Enti.

La stima dei Beni Culturali a rischio idrogeologico in Italia viene effettuata sovrapponendo, in ambiente GIS, le aree a pericolosità naturale, con i Beni Culturali architettonici, monumentali e archeologici italiani del Sistema VIR – Vincoli in Rete (<http://vincoliinrete.beniculturali.it>), realizzato dall'ISCR, ed è pubblicata annualmente sull'Annuario dei dati Ambientali (ISPRA, 2019).

Nell'elaborazione sul territorio nazionale non viene affrontata la determinazione del danno atteso, in quanto legata alla difficoltà di quantificare il valore economico per la peculiarità dei singoli beni (es. unicità, irripetibilità, impossibilità di monetizzare il danneggiamento su alcuni elementi) (Spizzichino *et alii*, 2013).

---

La vulnerabilità viene inoltre posta cautelativamente pari a 1 (valore massimo), in quanto una sua valutazione richiederebbe, oltre alla conoscenza della magnitudo dei fenomeni, una schedatura specifica della vulnerabilità da frana e idraulica del singolo bene esposto con la definizione delle curve di danno.

I beni culturali, a seguito di eventi calamitosi, possono subire danni permanenti spesso irreversibili fino alla perdita totale del bene; quelli architettonici, monumentali e archeologici, per loro natura, non sono inoltre quasi mai delocalizzabili e necessitano quindi di adeguate misure strutturali di salvaguardia (Trigila *et alii*, 2018).

Nell'ambito del Progetto ArTeK, ISPRA (Dipartimento per il Servizio Geologico di Italia) ha effettuato l'analisi ed estrazione, per tutti i siti del progetto, dei seguenti dati di base relativi alla pericolosità naturale disponibili sull'intero territorio nazionale:

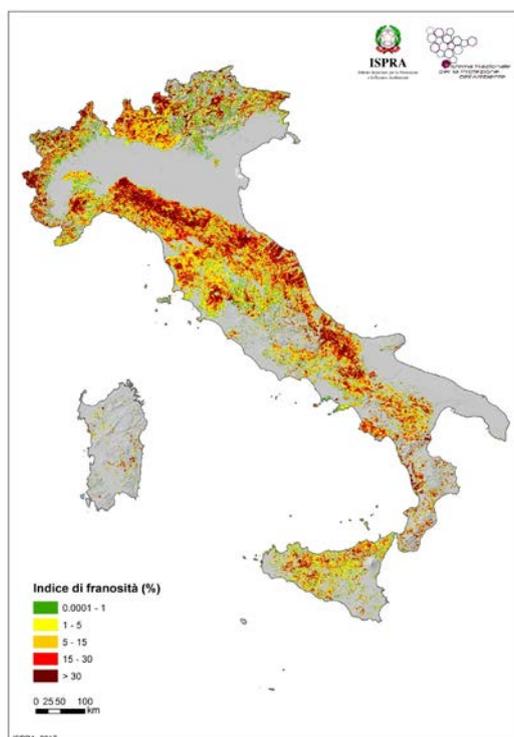
- a. Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (Progetto IFFI);
- b. Mosaicatura nazionale ISPRA delle aree a pericolosità da frana dei Piani di Assetto idrogeologico (PAI);
- c. Mosaicatura nazionale ISPRA delle aree a pericolosità idraulica (Scenari D. Lgs. 49/2010);
- d. Classificazione sismica su base comunale (Protezione Civile, 2015) e mappe di pericolosità sismica INGV (Peak ground Acceleration – PGA);
- e. Pericolosità vulcanica (Annuario dei Dati Ambientali - ISPRA, 2018);
- f. Pericolosità relativa all'erosione costiera, Sistema Informativo Geografico Costiero di ISPRA.

**a) *Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (Progetto IFFI)***

L'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (Progetto IFFI), realizzato dall'ISPRA e dalle Regioni e Province Autonome, censisce i fenomeni franosi verificatisi sul territorio nazionale secondo modalità standardizzate e condivise. L'Inventario contiene **620.808 frane** che interessano un'area di **23.700 km<sup>2</sup>**, pari al **7,9%** del **territorio nazionale** (Trigila *et alii*, 2018). L'Inventario IFFI è la banca dati sulle frane più completa e di dettaglio esistente in Italia, per la scala della cartografia adottata (1:10.000) e per il numero di parametri ad esse associati (<http://www.progettoiffi.isprambiente.it>).

Un quadro sulla distribuzione delle frane in Italia può essere ricavato dall'indice di franosità, pari al rapporto tra l'area in frana e la superficie totale, calcolato su maglia di lato 1 km (Figura 2.2.1).

L'Inventario IFFI è un importante strumento conoscitivo di base che viene utilizzato per la valutazione della pericolosità da frana dei Piani di Assetto Idrogeologico (PAI), la progettazione preliminare di interventi di difesa del suolo e di reti infrastrutturali e la redazione dei Piani di Emergenza di Protezione Civile.



**Figura 2.2.1** - Densità di frane (area in frana/area cella) su maglia di lato 1 km

**b) Mosaicatura della Pericolosità da frana dai piani di assetto idrogeologico**

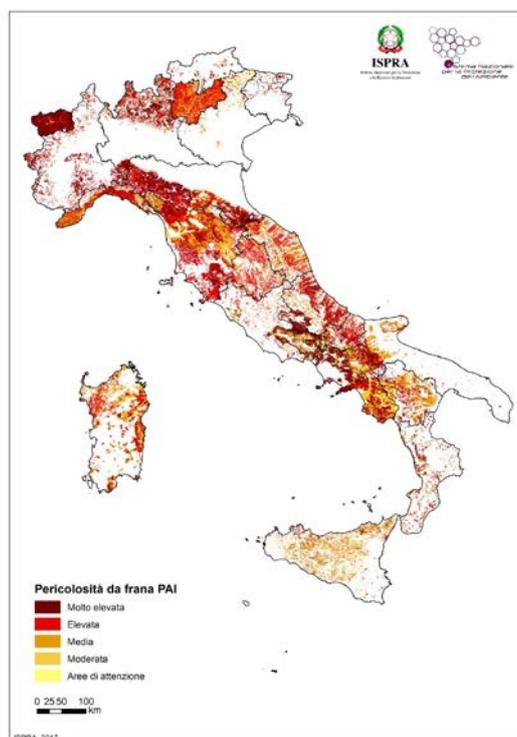
Le aree a pericolosità da frana<sup>11</sup> dei Piani di Assetto Idrogeologico (PAI) includono, oltre alle frane già verificatesi, anche le zone di possibile evoluzione dei fenomeni e le zone potenzialmente suscettibili a nuovi fenomeni franosi. I PAI, redatti dalle Autorità di Bacino (ora Autorità di Bacino Distrettuali) ai sensi della L. 183/89, del D.L. 180/98 e s.m.i. (Atto di indirizzo e coordinamento 29/09/98, L. 267/98 e L. 365/00) e del D. Lgs. 152/06, costituiscono uno strumento fondamentale per una corretta pianificazione territoriale attraverso l'applicazione di vincoli e regolamentazioni d'uso del territorio (es. vincolo di inedificabilità nelle aree a pericolosità molto elevata).

La nuova Mosaicatura nazionale ISPRA (v. 3.0 - Dicembre 2017) delle aree a pericolosità dei Piani di Assetto Idrogeologico è stata realizzata sulla base degli aggiornamenti forniti dalle Autorità di Bacino Distrettuali, utilizzando, in analogia con la Mosaicatura ISPRA 2015 (Trigila *et alii*, 2015), una classificazione della pericolosità per l'intero territorio nazionale in 5 classi: pericolosità molto elevata P4, elevata P3, media P2, moderata P1 e aree di attenzione AA.

La superficie complessiva, in Italia, delle aree a pericolosità da frana PAI e delle aree di attenzione è pari a **59.981 km<sup>2</sup>** (**19,9%** del territorio nazionale); se prendiamo in considerazione le classi a maggiore pericolosità (elevata P3 e molto elevata P4), assoggettate ai vincoli di utilizzo del territorio più restrittivi, le aree ammontano a **25.410 km<sup>2</sup>**, pari all'**8,4%** del territorio nazionale.

La mosaicatura della pericolosità da frana sul territorio nazionale (Figura 2.2.2) presenta alcune disomogeneità di mappatura e classificazione, dovute principalmente alle differenti metodologie utilizzate dalle Autorità di Bacino per la valutazione della pericolosità da frana (Trigila *et alii*, 2018).

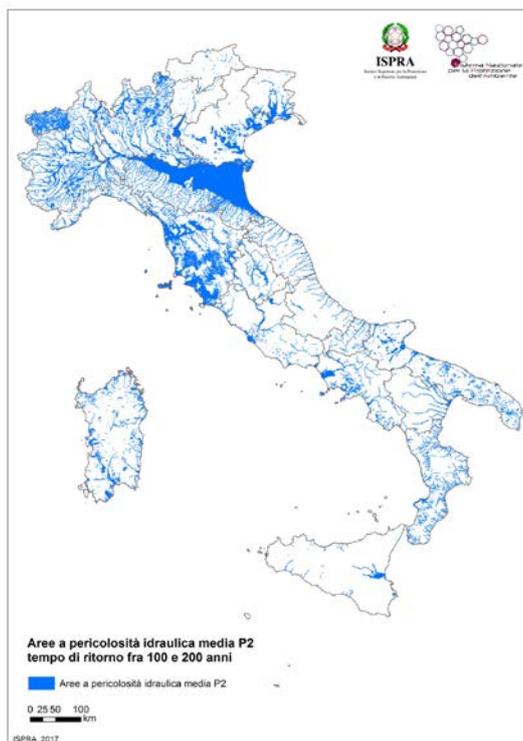
<sup>11</sup> La pericolosità da frana rappresenta la probabilità di occorrenza di un fenomeno potenzialmente distruttivo, di una determinata intensità in un dato periodo e in una data area.



**Figura 2.2.2** - Aree a pericolosità da frana PAI

**c) Mosaicatura della pericolosità idraulica**

La Mosaicatura nazionale ISPRA (v. 4.0 - Dicembre 2017) delle aree a pericolosità idraulica, perimetrata dalle Autorità di Bacino Distrettuali, è stata realizzata secondo i tre scenari di pericolosità del D. Lgs. 49/2010 (recepimento della Direttiva Alluvioni 2007/60/CE): elevata P3 con tempo di ritorno fra 20 e 50 anni (alluvioni frequenti), media P2 con tempo di ritorno fra 100 e 200 anni (alluvioni poco frequenti) e bassa P1 (scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi). Le aree a pericolosità idraulica elevata in Italia risultano pari a **12.405 km<sup>2</sup>**, le aree a pericolosità media ammontano a **25.398 km<sup>2</sup>**, quelle a pericolosità bassa (scenario massimo atteso) a **32.961 km<sup>2</sup>** (Figura 2.2.3) (Trigila *et alii*, 2018).

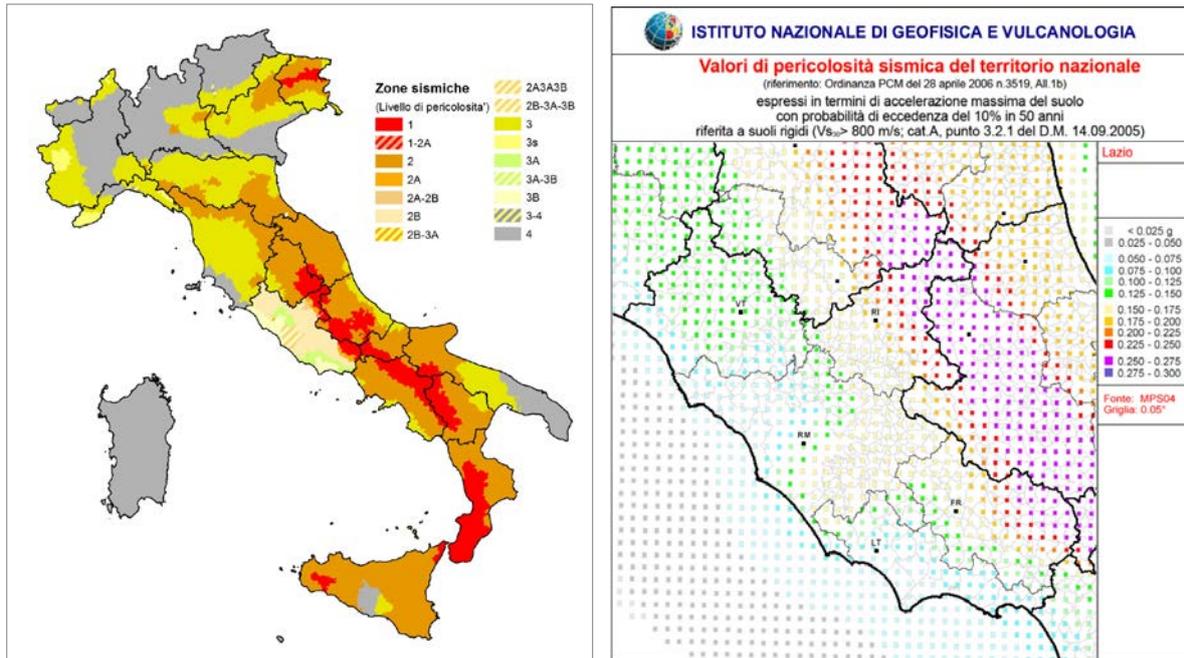


**Figura 2.2.3** - Aree a pericolosità idraulica media P2

Le mosaicature ISPRA delle aree a pericolosità da frana PAI e delle aree a pericolosità idraulica sono pubblicate sul Geoportale ISPRA (<http://www.geoviewer.isprambiente.it>) e sul Portale del Servizio Geologico d'Italia (<http://portalesgi.isprambiente.it/>).

### **c) Classificazione sismica**

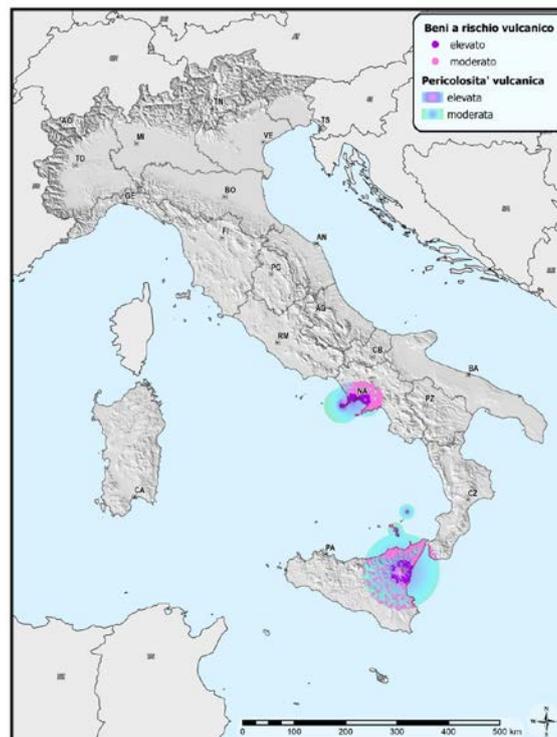
La nuova classificazione sismica, così come recepita da parte delle Regioni e delle Province autonome a seguito dell'Ordinanza PCM del 20 marzo 2003 n. 3274, individua i comuni classificati a pericolosità sismica pari a: 1 (zone in cui possono verificarsi terremoti molto forti), 2 (zone in cui possono verificarsi forti terremoti), 3 (possono verificarsi forti terremoti ma rari), 4 (zona meno pericolosa con terremoti rari). Per l'analisi dei siti ArTeK sono state inoltre utilizzate le mappe INGV dei valori di pericolosità sismica del territorio nazionale espressi in termini di accelerazione massima del suolo (PGA) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Figura 2.2.4).



**Figura 2.2.4** - Classificazione sismica dei comuni italiani e stralcio delle mappe interattive di pericolosità sismica INGV

**d) Pericolosità vulcanica**

E' stata utilizzata la Mappa dei Vulcani attivi e di buffer di pericolosità realizzata da ISPRA sulla base della cartografia disponibile. I buffer di pericolosità vulcanica elevata (colate, flussi piroclastici, falls e ceneri) e di pericolosità vulcanica moderata (falls e ceneri), sono stati realizzati per interpolazione cautelativa delle carte di pericolosità (ove disponibili) prodotte dalle relative autorità competenti (es. Osservatorio Vesuviano, INGV, Protezione Civile) o da Università e Istituti di ricerca (Figura 2.2.5).



**Figura 2.2.5** - Mappa dei buffer di pericolosità vulcanica e beni VIR – ISCR a rischio vulcanico

### e) Sistema Informativo Geografico Costiero ISPRA

Il Sistema Informativo Geografico Costiero ISPRA è un sistema di raccolta e di elaborazione delle informazioni per la rappresentazione degli elementi naturali e antropici che caratterizzano il territorio costiero. Mediante l'elaborazione dei dati costieri rilevati dai mosaici della cartografia IGM 1:25.000 e dalle ortofoto a colori del volo IT2000 e volo IT2006 sono stati definiti i tratti naturali, artificiali e fittizi della costa ed è stata analizzata la variazione dell'assetto della linea di riva per le coste basse (ISPRA, 2015).

#### 2.2.1 Sintesi della pericolosità naturale nei siti ArTeK

La tabella 2.2.1.1 riporta la sintesi delle informazioni relative alla pericolosità naturale nei siti del progetto ArTeK.

**Tabella 2.2.1.1 - Sintesi pericolosità naturale nei siti ArTeK**

ID	SITO	FRANE INVENTARIO IFFI	PERICOLOSITÀ DA FRANA PAI	PERICOLOSITÀ IDRAULICA D.LGS. 49/2010	PERICOLOSITÀ SISMICA	GRIGLIA INGV PGA	PERICOLOSITÀ VULCANICA	EROSIONE COSTIERA
1	Villa Adriana	-	P1	P3, P2, P1	2B	0,15-0,175	bassa	-
2	Baia	-	P3	-	2	0,15-0,175	elevata	costa per lo più artificiale
3	Monte Orlando	-	P4	-	3A	0,075-0,100	bassa	costa alta
4	Civita di Bagnoregio	3 poligoni frane + aree soggette a frane superficiali diffuse	P4, P3	-	2B	0,125-0,15	bassa	-
5	Gianola	1 poligono crollo esterno al buffer del sito	P4	P3, P2, P1	3A	0,075-0,100	bassa	costa alta
6	Tivoli centro storico	-	P4, P3, P1	P3, P2, P1	2B	0,15-0,175	bassa	-
7	AOI Matera - Torrente Gravina	Poligoni di frana e aree soggette a frane superficiali diffuse	P4, P3, P2, P1, AA	P3, P2, P1	3	0,125-0,15	bassa	-

### 3. APPLICAZIONE AI SITI PILOTA

Per ciascun sito pilota sono di seguito riportate le mappe relative alla pericolosità antropica, al rischio antropico e alla pericolosità naturale.

#### 3.1 Tivoli e Villa Adriana

Il comune di Tivoli si trova alle pendici occidentali dei monti Tiburtini, ad est di Roma, posizionato lungo il fiume Aniene.

In ArTeK sono state analizzate in particolare due aree del territorio comunale: il centro storico e Villa Adriana, dal 1999 dichiarata Patrimonio dell'Umanità dall'UNESCO.

Secondo la classificazione del Corine Land Cover III livello (Figura 3.1.1), il buffer di studio del centro storico di Tivoli è occupato da tessuto urbano (52%), da boschi di latifoglie (22%), sistemi colturali e complessi (21%), uliveti (3,8%), da aree a pascolo naturale e praterie (0,7%) .

L'area di Villa Adriana è caratterizzata dalla presenza di uliveti (62%), sistemi colturali e particellari complessi (15%), aree occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali (12%), aree ricreative (3%), aree industriali/commerciali (2,3%), da tessuto urbano discontinuo (3%), da boschi di latifoglie (0,6%) e da aree a pascolo naturale (1,6%).

La rete stradale si estende per circa 4,3 km nell'area di Villa Adriana e 1,95 km nell'area del centro storico; in entrambe i casi circa il 90% della lunghezza si riferisce al sistema viario nazionale mentre il restante 10% a tracciati locali (residenziali e privati).

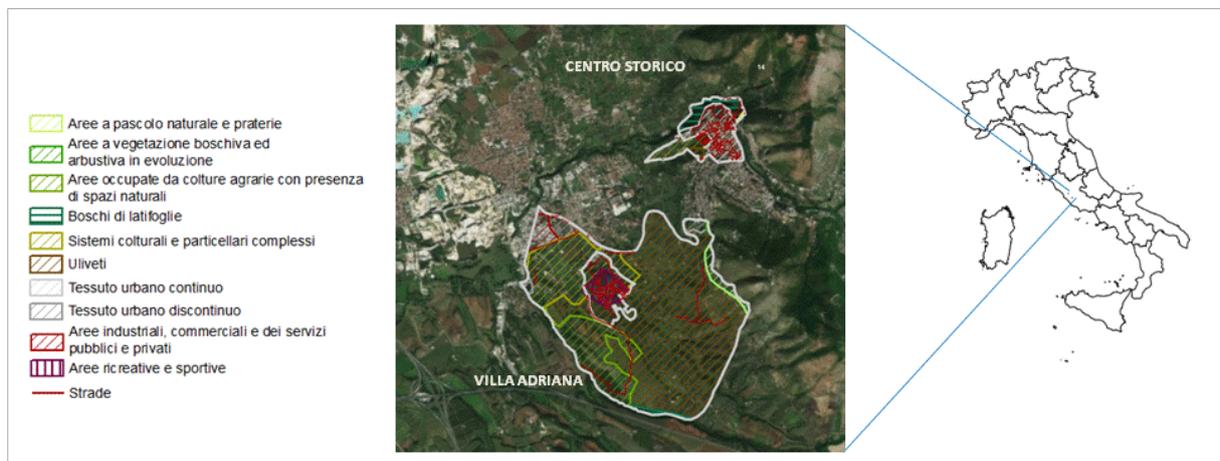
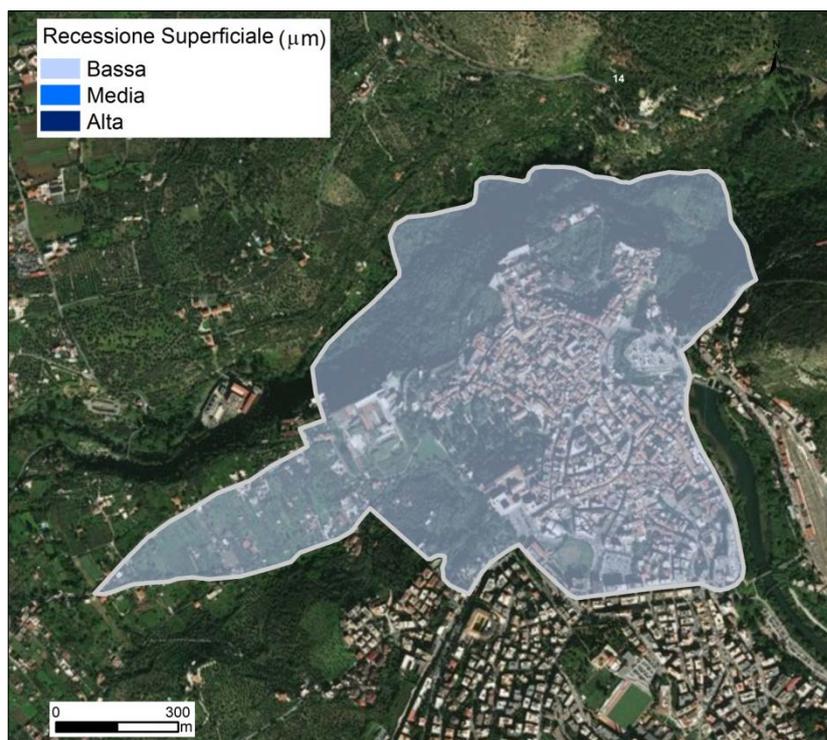


Figura 3.1.1 - Tivoli: Uso del suolo del centro storico e di Villa Adriana

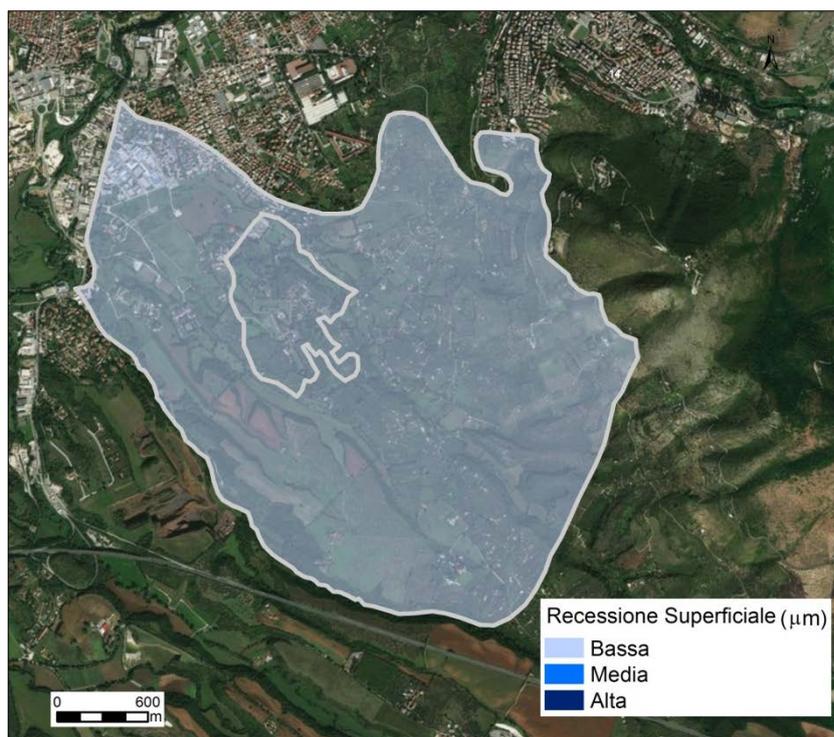
#### 3.1.1 Pericolosità e rischio ambientale aria

Per il calcolo della recessione superficiale e dell'annerimento nelle aree del centro storico di Tivoli e di Villa Adriana sono stati utilizzati i dati di concentrazione di NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub> e SO<sub>2</sub> e i dati di temperatura, umidità relativa e precipitazioni prodotti, per il 2017, dal modello FARM (ARPA Lazio) con una risoluzione di 1km x 1 km.

Nelle figure 3.1.1.1 e 3.1.1.2 sono riportate le mappe di pericolosità da recessione superficiale per i due buffer di studio. La recessione superficiale stimata è pari a 4,7 - 4,8 µm per il centro storico e a 4,6 - 4,9 µm per Villa Adriana (pericolosità bassa).



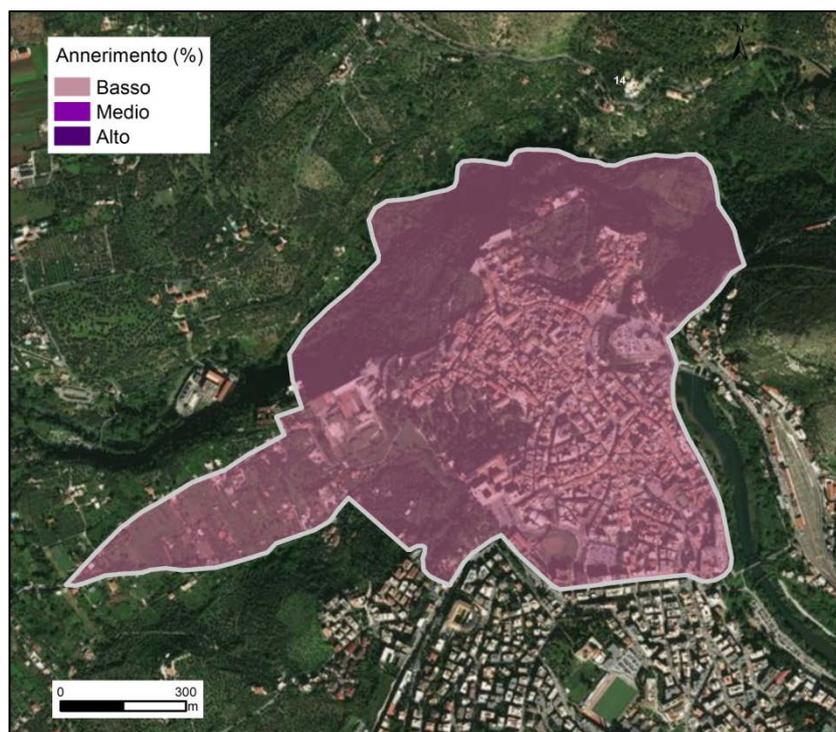
**Figura 3.1.1.1-** *Tivoli centro storico: recessione superficiale*



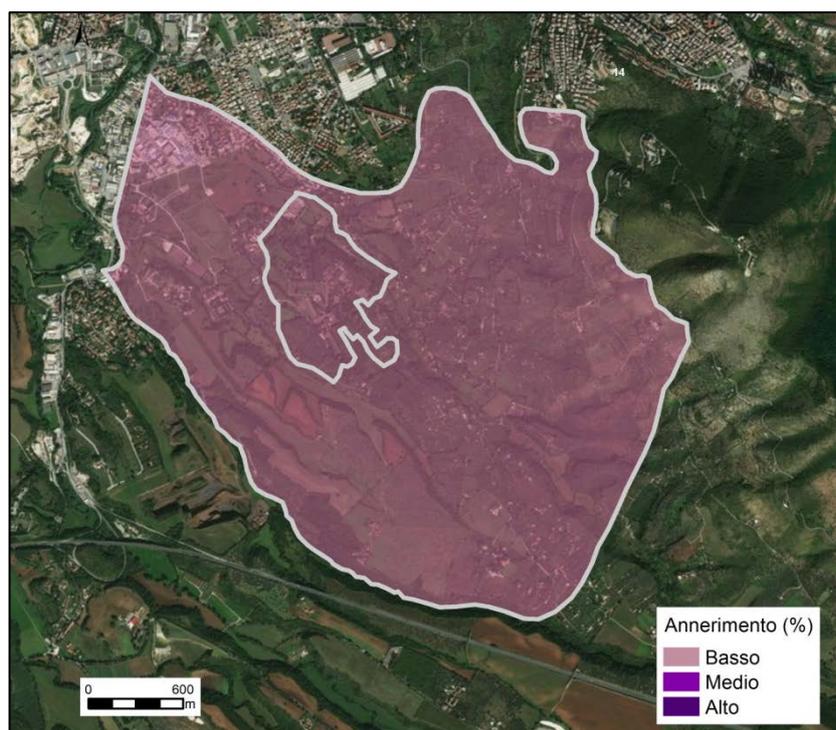
**Figura 3.1.1.2 -** *Tivoli Villa Adriana: recessione superficiale*

Nelle figure 3.1.1.3 e 3.1.1.4 sono riportate le mappe di pericolosità associate all'annerimento rispettivamente del centro storico e di Villa Adriana.

La diminuzione percentuale di luminosità è inferiore al 2% (pericolosità bassa), in entrambe le aree esaminate.



**Figura 3.1.1.3** - Tivoli centro storico: annerimento

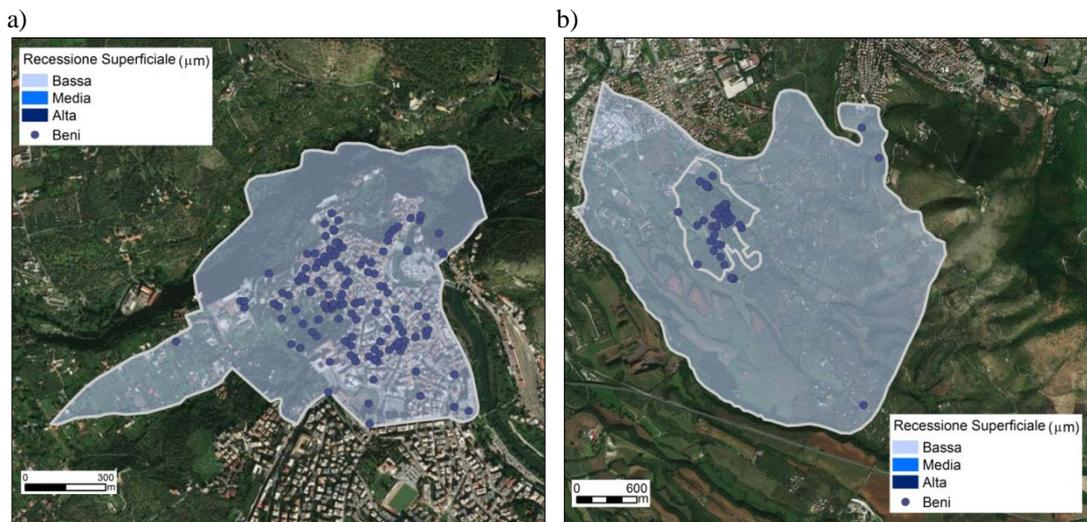


**Figura 3.1.1.4** - Tivoli Villa Adriana: annerimento

Per il calcolo del rischio territoriale, i dati di pericolosità da recessione superficiale e da annerimento sono stati sovrapposti alla distribuzione dei beni georeferiti nella banca dati VIR.

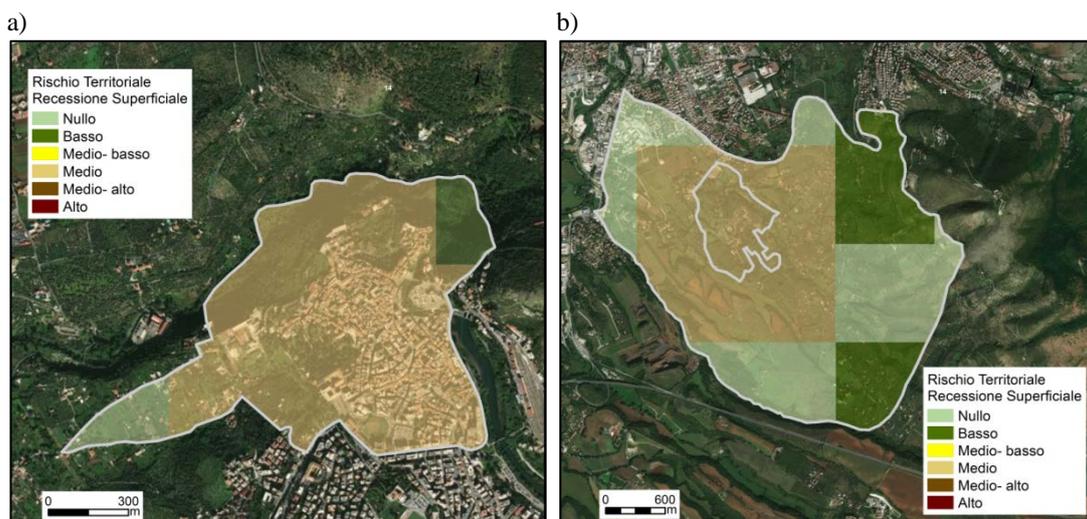
La figura 3.1.1.5 riporta, a titolo di esempio, la sovrapposizione della pericolosità da recessione superficiale alla distribuzione dei beni presenti nelle due aree di studio.

Il rischio territoriale è stato ottenuto utilizzando i criteri descritti nel paragrafo 2.1.1.

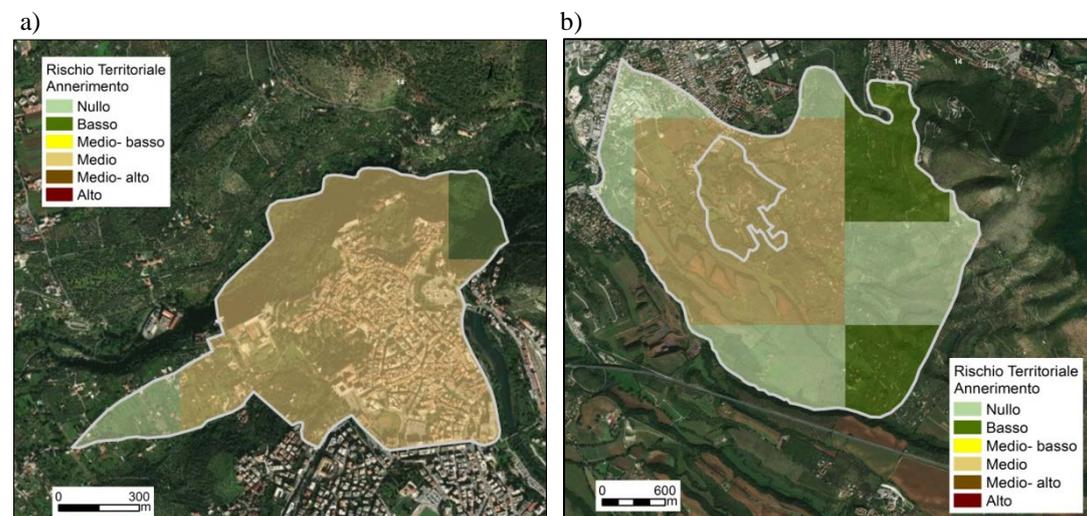


**Figura 3.1.1.5** – Sovrapposizione della mappa di recessione superficiale alla distribuzione dei beni georeferiti in VIR: a) centro storico di Tivoli; b) Villa Adriana

Nelle figure 3.1.1.6 e 3.1.1.7 sono mostrate le mappe di rischio territoriale associate rispettivamente alla recessione superficiale e all’annerimento.



**Figura 3.1.1.6** - Rischio territoriale associato alla recessione superficiale a Tivoli: a) centro storico; b) Villa Adriana



**Figura 3.1.1.7** - Rischio territoriale associato all’annerimento a Tivoli: a) centro storico; b) Villa Adriana

Le mappe di pericolosità sono state successivamente sovrapposte ai dati di vulnerabilità di alcuni beni archeologici e architettonici selezionati nelle aree considerate e presenti nella banca dati VIR.

La sovrapposizione dei due differenti tipi di informazione ha consentito di ottenere una stima del rischio individuale per ogni singolo bene (come descritto nel paragrafo 2.1.1).

Le tabelle 3.1.1.1 e 3.1.1.2 riportano le classi di rischio individuale associato alla recessione superficiale e all'annerimento ottenuto per i beni architettonici ed archeologici selezionati nei due buffer di studio.

**Tabella 3.1.1.1** - *Tivoli: rischio individuale per i beni architettonici e archeologici del Centro Storico di Tivoli*

<b>BENI ARCHEOLOGICI-TIVOLI CENTRO</b>	<b>RISCHIO INDIVIDUALE RECESSIONE</b>	<b>RISCHIO INDIVIDUALE ANNERIMENTO</b>
C.d. Tempio della Tosse	Medio	Medio
Podio del santuario di Ercole Vincitore (componente)	Medio	Medio
Ponte di San Martino	Medio	Medio
Porta Romana	Medio	Medio
Tempio c. D. di Vesta	Basso	Basso
Portico	Basso	Basso
Teatro (resti)	Basso	Basso
Tempio c.d. della Sibilla Tiburtina	Basso	Basso
Impianto idroelettrico Santuario Ercole Vincitore	Basso	Basso
Ex cartiera del Santuario di Ercole Vincitore (componente)	Basso	Basso
Via Tecta - Santuario di Ercole Vincitore (componente)	Basso	Basso
Antiquarium Santuario di Ercole Vincitore (componente)	Basso	Basso
<b>BENI ARCHITETTONICI-TIVOLI CENTRO</b>	<b>RISCHIO INDIVIDUALE RECESSIONE</b>	<b>RISCHIO INDIVIDUALE ANNERIMENTO</b>
Rocca Pia	Basso	Basso
Antiche vestigia (componente duomo di s. Lorenzo)	Basso	Basso
Casa parrocchiale (Duomo di Tivoli - componente)	Basso	Basso
Palazzo della Missione	Basso	Basso
Ambiente preesistenze complesso di san Pietro alla Carità	Medio	Medio
Cripta del complesso di san Pietro alla Carità	Basso	Basso
Refettorio del complesso di san Pietro alla Carità	Basso	Basso
Campanile del complesso di san Pietro alla Carità	Basso	Basso
Campanile del Duomo	Basso	Basso
Ponte Gregoriano	Basso	Basso
Chiesa di S. Pietro alla Carità	Medio	Medio
Chiesa di S. Maria Maggiore	Medio	Medio
Duomo di S. Lorenzo	Basso	Basso
Torre del XII sec.	Basso	Basso

**Tabella 3.1.1.2 - Tivoli: rischio individuale per i beni architettonici e archeologici del centro storico di Tivoli**

<b>BENI ARCHEOLOGICI -VILLA ADRIANA</b>	<b>RISCHIO INDIVIDUALE RECESSIONE</b>	<b>RISCHIO INDIVIDUALE ANNERIMENTO</b>
Tre Esedre	Medio	Medio
Serapeo	Medio	Medio
Piccole Terme	Basso	Basso
Vestibolo	Basso	Basso
Pecile (portico)	Basso	Basso
Grandi Terme	Basso	Basso
C.d. Torre di Rocca Bruna	Basso	Basso
Canopo	Medio	Medio
Edificio con peschiera o palazzo di inverno	Medio	Medio

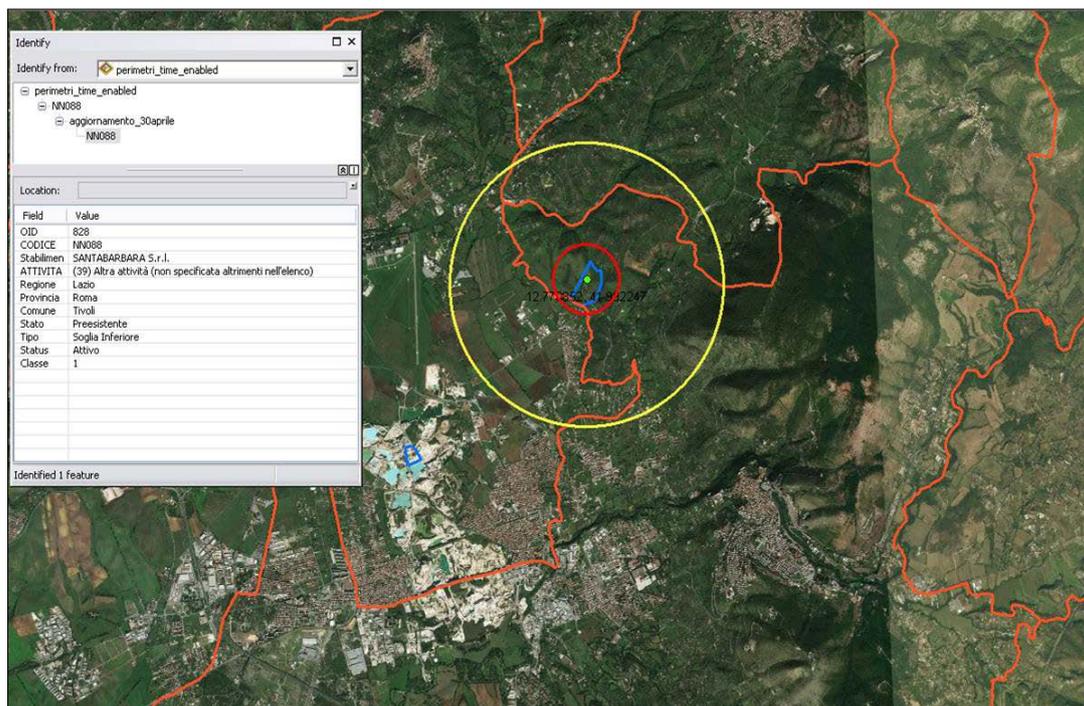
Poiché la pericolosità territoriale è omogeneamente bassa per entrambe le aree di studio, il rischio individuale per i beni di Tivoli è risultato dipendente prevalentemente dal dato di vulnerabilità.

### **3.1.2 Pericolosità per presenza di impianti PIR (già RIR)**

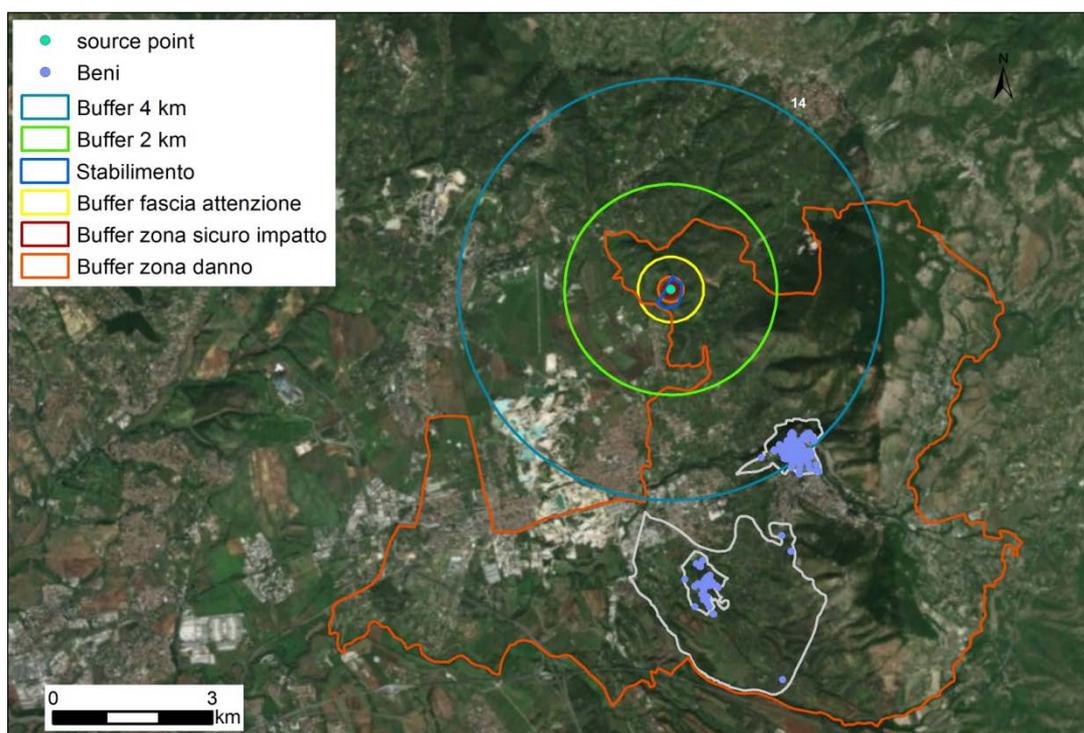
Nel comune di Tivoli è attualmente ubicato (vedi figura 3.1.2.1, in cui le linee arancioni indicano i confini amministrativi comunali) un unico stabilimento PIR attivo, il deposito di Tivoli della società SEI EPC ITALIA SPA (ex Santabarbara srl), la cui attività primaria consiste nell'importazione, il deposito, il trasporto ed il commercio di materiali esplosivi su tutto il territorio nazionale. Si tratta di uno stabilimento di soglia inferiore, ai sensi del D.lgs.105/2015, in cui sono presenti sostanze esplosive della categoria P1a, come individuata nell'allegato 1 parte prima di tale decreto (quali trinitrotoluene e miscele di nitroglicerina, nitrati, ecc.).

Il deposito di esplosivi SEI EPC ITALIA spa, il cui perimetro è individuato con la linea di colore blu (all'interno del cerchio di colore giallo con raggio di 2 km), è ubicato a Nord Ovest del centro abitato di Tivoli (NB la figura mostra un'altra linea perimetrale blu nella zona Sud Est, riferita ad altro stabilimento fuoriuscito dal campo di applicazione della normativa Seveso). Lo scenario incidentale ipotizzabile nel deposito è la detonazione della riserverta esplosivi, generata nel punto sorgente (indicato in verde nella stessa figura 3.1.2.1), che determinerebbe in caso di accadimento, una potenziale area massima di danno (corrispondente alla zona III di attenzione riportata nella sezione M della notifica) rappresentata dal cerchio rosso con raggio pari a 487 metri, che supererebbe i confini dello stabilimento; le altre zone di danno dichiarate dal gestore non sono riportate in figura perché restano all'interno del cerchio rosso (rispettivamente con raggi di 135 m per la zona I di sicuro impatto e di 240 m per la zona II di danno). Nella figura 3.1.2.2 le aree di danno II e di attenzione III (cerchi di colore arancione e verde) associate allo stabilimento PIR censito nel comune di Tivoli sono messe in relazione con i perimetri delle aree che includono i beni culturali presenti nel centro storico di Tivoli e di Villa Adriana (punti viola all'interno della linea di colore grigio).

La figura evidenzia l'assenza di impatti per gli incidenti rilevanti ipotizzabili nello stabilimento PIR SEI EPC ITALIA spa sui beni culturali presenti nel comune di Tivoli.



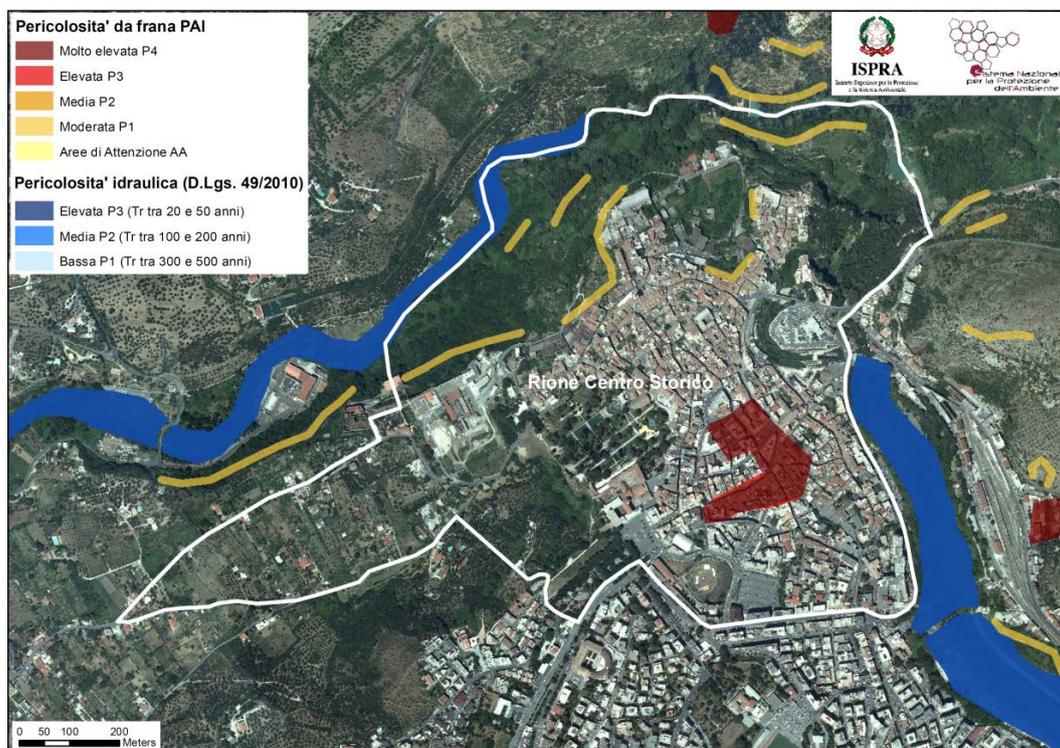
**Figura 3.1.2.1** - Tivoli: collocazione dello stabilimento PIR ed area massima di danno ad esso associata



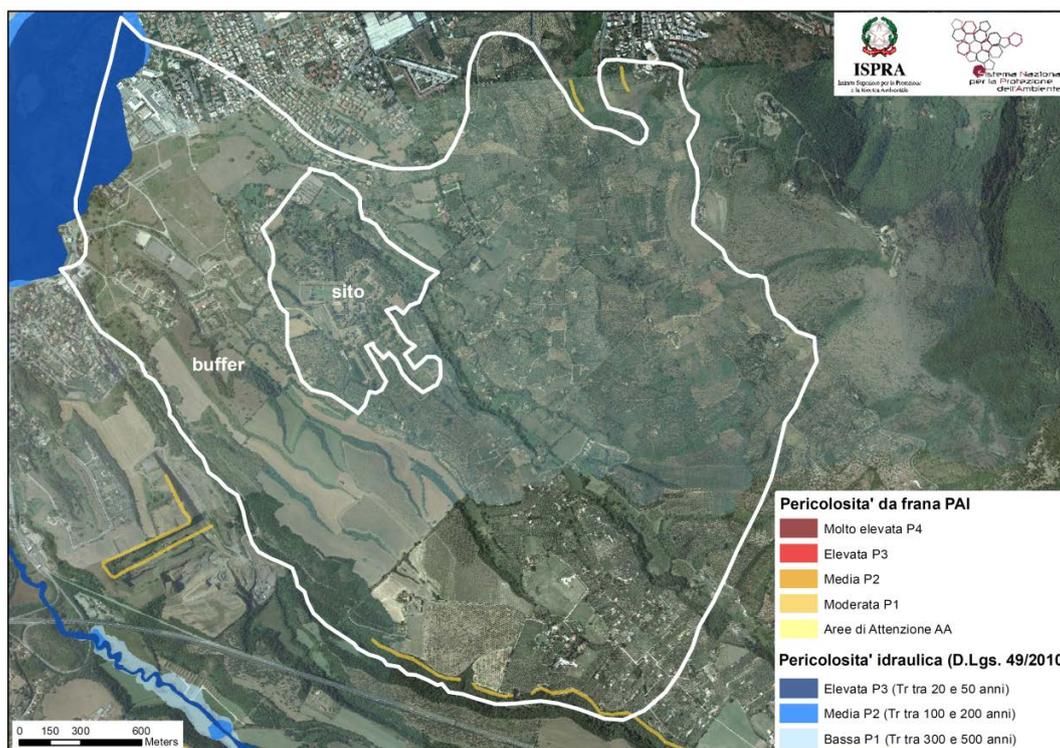
**Figura 3.1.2.2** - Tivoli: collocazione beni culturali e dello stabilimento PIR con indicazione aree di danno associate

### 3.1.3 Pericolosità di origine naturale

Per la pericolosità di origine naturale, nelle figure seguenti (Figura 3.1.3.1 e 3.1.3.2) è rappresentata la distribuzione delle aree a **pericolosità da frana e idraulica** nel Rione centro storico di Tivoli e nella buffer zone di Villa Adriana.



**Figura 3.1.3.1** - Aree a pericolosità da frana PAI e aree a pericolosità idraulica (Scenari D. Lgs. 49/2010) nel Rione centro storico di Tivoli (Fonte: Mosaicature ISPRA 2017)

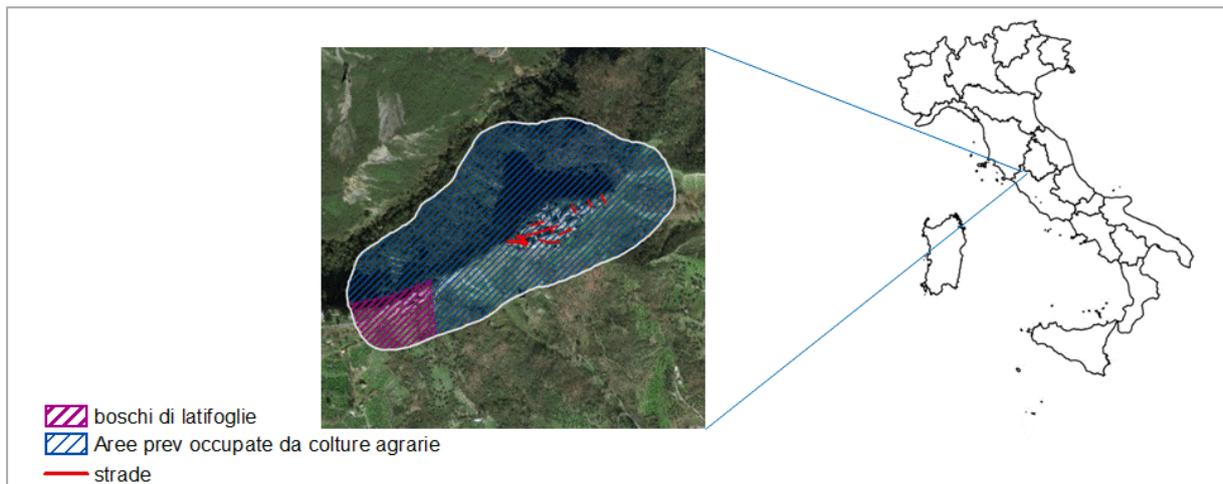


**Figura 3.1.3.2** - Aree a pericolosità da frana PAI e aree a pericolosità idraulica (Scenari D. Lgs. 49/2010) nella buffer zone di Villa Adriana (Fonte: Mosaicature ISPRA 2017)

## 3.2 Civita di Bagnoregio

Civita di Bagnoregio è un borgo sito in provincia di Viterbo in una zona caratterizzata dall'azione di fiumi ed eventi atmosferici su una geologia molto particolare, costituita da una base calcarea di origine marina su cui si è depositato nel tempo uno strato di materiali tufacei di origine vulcanica. Nell'area sono riscontrabili opere già di origine etrusca e poi romana realizzate nel tentativo di contenere il dissesto del territorio responsabile, in epoche più recenti, dell'abbandono del borgo. Oggi abitato da poche unità è collegato con il territorio circostante mediante un ponte pedonale di cemento armato sospeso sui calanchi.

Il territorio è per il 97% occupato da colture agrarie con spazi naturali e per il 2,7% da boschi di latifoglie mentre il reticolo viario è costituito da tracciati pedonali o a carattere di viabilità locale (Figura 3.2.1).

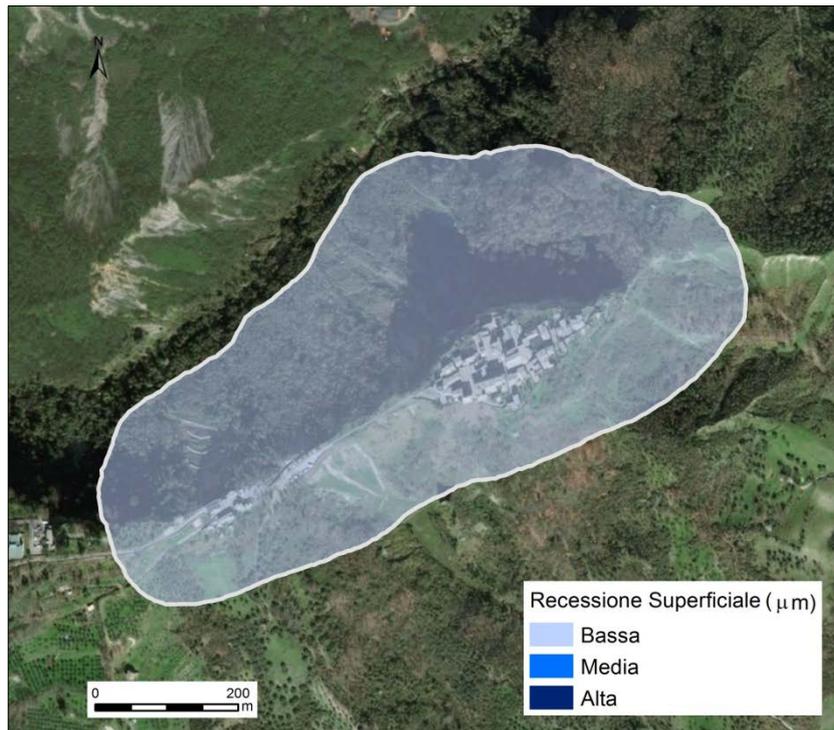


**Figura 3.2.1-** *Civita di Bagnoregio: uso del suolo*

### 3.2.1 Pericolosità e rischio ambientale aria

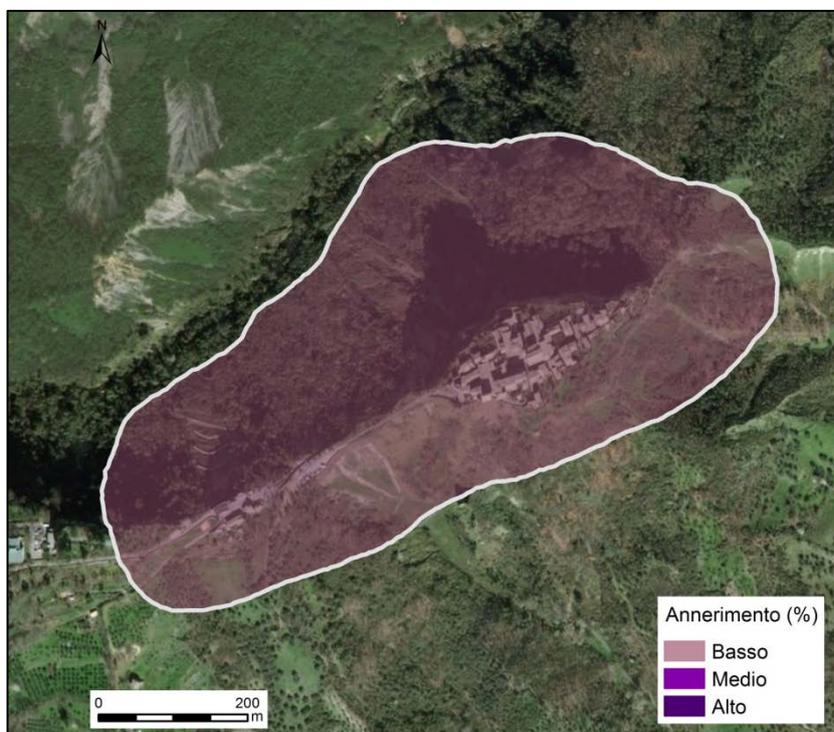
Per caratterizzare Civita di Bagnoregio dal punto di vista climatico e della qualità dell'aria, sono stati estratti i dati di concentrazione di NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub> e SO<sub>2</sub> e i dati meteorologici (precipitazioni, temperatura e umidità relativa) del comune di Bagnoregio, prodotti con il modello atmosferico FARM per il 2017 ad una risoluzione di 4 km x 4 km (ARPA Lazio).

La recessione superficiale stimata nel buffer analizzato (Figura 3.2.1.1) risulta essere pari a 4,9 µm (pericolosità bassa).



**Figura 3.2.1.1** - Civita di Bagnoregio: recessione superficiale

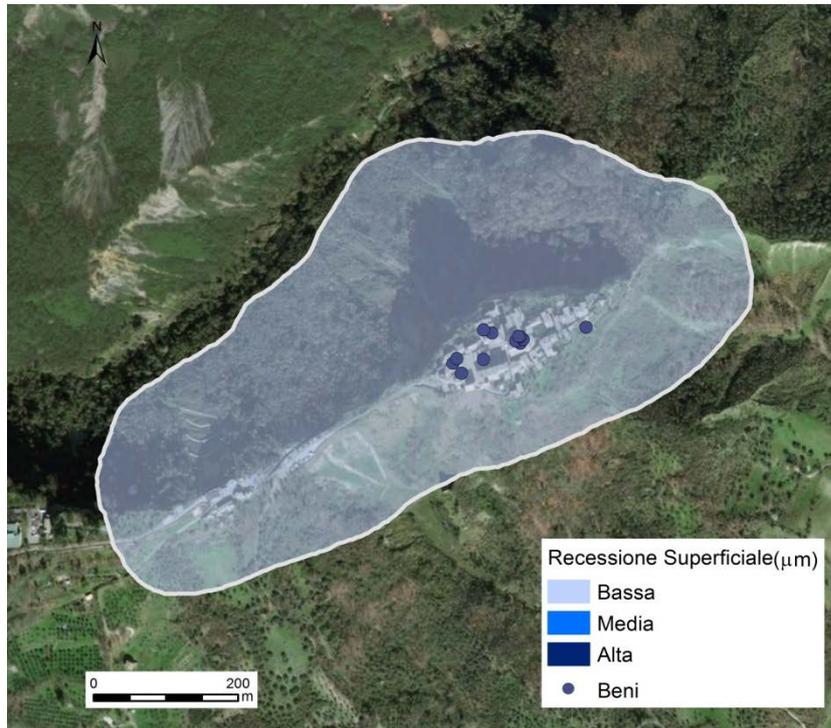
Nella figura 3.2.1.2 è riportata la mappa di pericolosità da annerimento; la diminuzione percentuale di luminosità risulta essere inferiore al 2% in tutta l'area oggetto di studio (pericolosità bassa).



**Figura 3.2.1.2** - Civita di Bagnoregio: annerimento

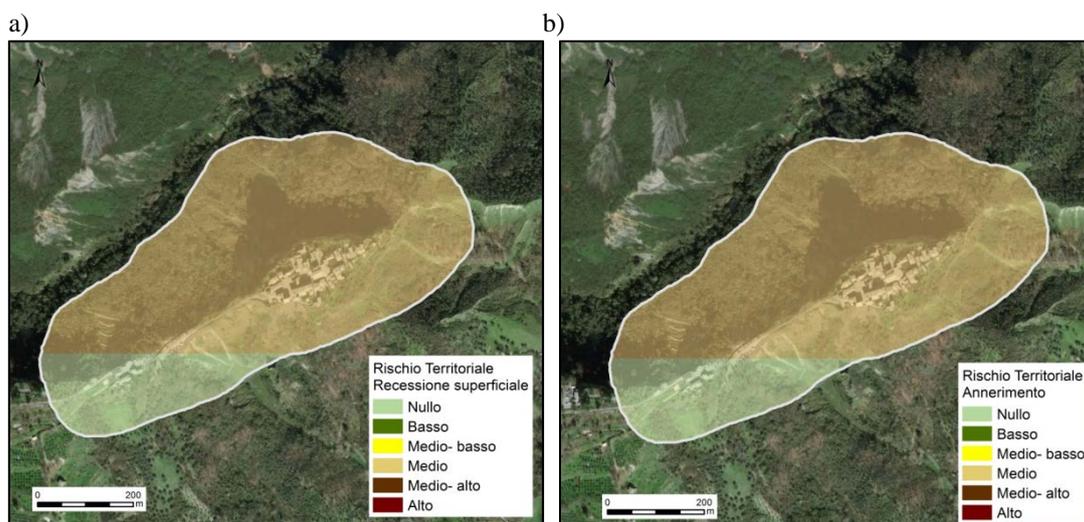
I dati di pericolosità da recessione superficiale e da annerimento sono stati sovrapposti alla distribuzione dei beni georeferiti a Civita di Bagnoregio per il calcolo del rischio territoriale.

La figura 3.2.1.3 riporta, a titolo di esempio, la sovrapposizione della pericolosità da recessione superficiale alla distribuzione dei beni presenti nel buffer di studio.



**Figura 3.2.1.3** - Civita di Bagnoregio: sovrapposizione della mappa di recessione superficiale alla distribuzione dei beni georeferiti in VIR

Nella figura 3.2.1.4 sono mostrate le mappe di rischio territoriale associate alla recessione superficiale e all'annerimento.



**Figura 3.2.1.4** - Civita di Bagnoregio: rischio territoriale a) recessione superficiale; b) annerimento

Le pericolosità da recessione superficiale e da annerimento sono state combinate con i dati di vulnerabilità dei beni archeologici schedati in situ (forniti da ISCR) per la stima del rischio individuale (Tabella 3.2.1.1).

**Tabella 3.2.1.1-** Civita di Bagnoregio: rischio individuale da recessione superficiale e da annerimento per i beni archeologici schedati in situ

BENI ARCHEOLOGICI	RISCHIO INDIVIDUALE RECESSIONE	RISCHIO INDIVIDUALE ANNERIMENTO
Ponte Medievale	Medio	Medio
Cappella della Madonna del carcere	Medio	Medio
Palazzo Janni (ruderi)	Medio	Medio

### 3.2.2 Pericolosità per presenza di impianti PIR (ex RIR)

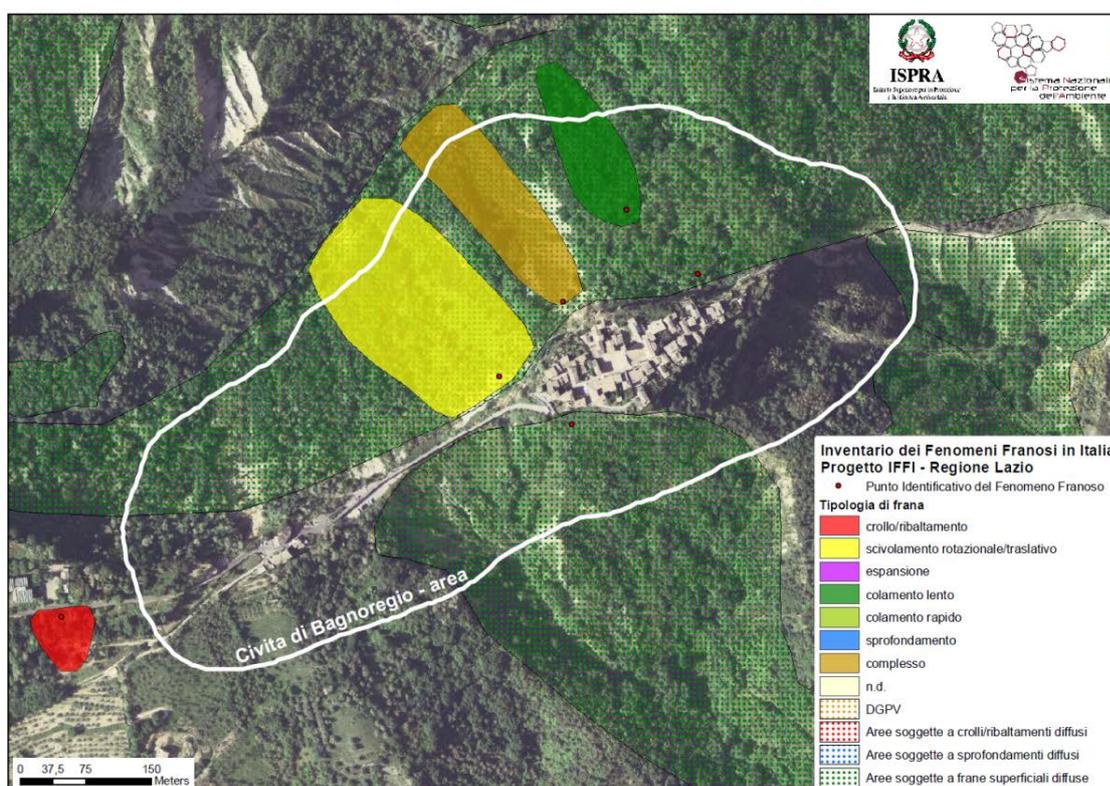
Nella zona oggetto di studio non sono presenti impianti PIR.

### 3.2.3 Pericolosità di origine naturale

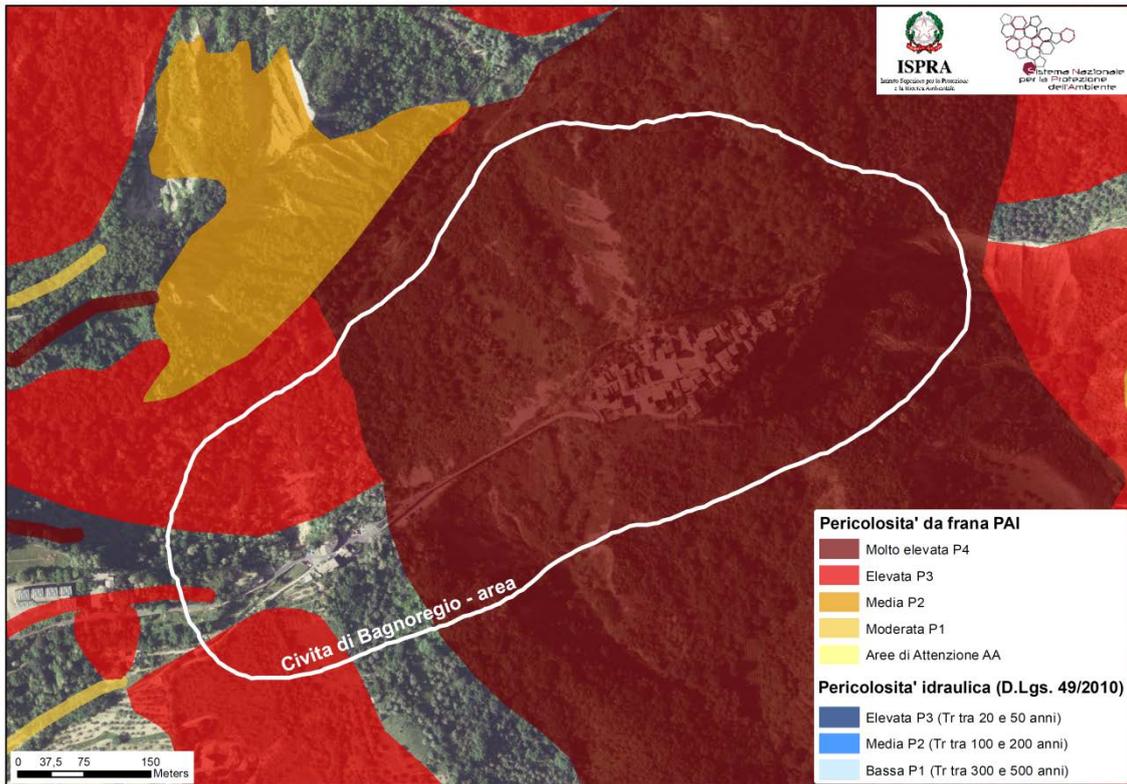
Nel caso di studio di Civita di Bagnoregio i dati di base forniti per la definizione del livello di pericolosità naturale (Figure 3.2.3.1 e 3.2.3.2), sono stati aggiornati e calibrati (ove possibile) attraverso sopralluoghi nelle aree test. Nello specifico nel borgo di Civita è stato effettuato un primo sopralluogo il 3 agosto 2017 con i seguenti obiettivi:

- verificare e aggiornare (ove possibile) la distribuzione dei fenomeni di dissesto censiti, la loro tipologia e lo stato di attività;
- individuare in via preliminare le zone più attive per l'installazione del sistema di monitoraggio *in situ* e la successiva calibratura delle analisi condotte con i dati satellitari (ottiche e radar).

Alcuni fenomeni di dissesto individuati nel corso i sopralluoghi sono osservabili nelle figure 3.2.3.3.e 3.2.3.4.



**Figura 3.2.3.1** - Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia nel sito di Civita di Bagnoregio



**Figura 3.2.3.2** - Aree a pericolosità da frana PAI nel sito di Civita di Bagnoregio (Fonte: Mosaicature ISPRA 2017)

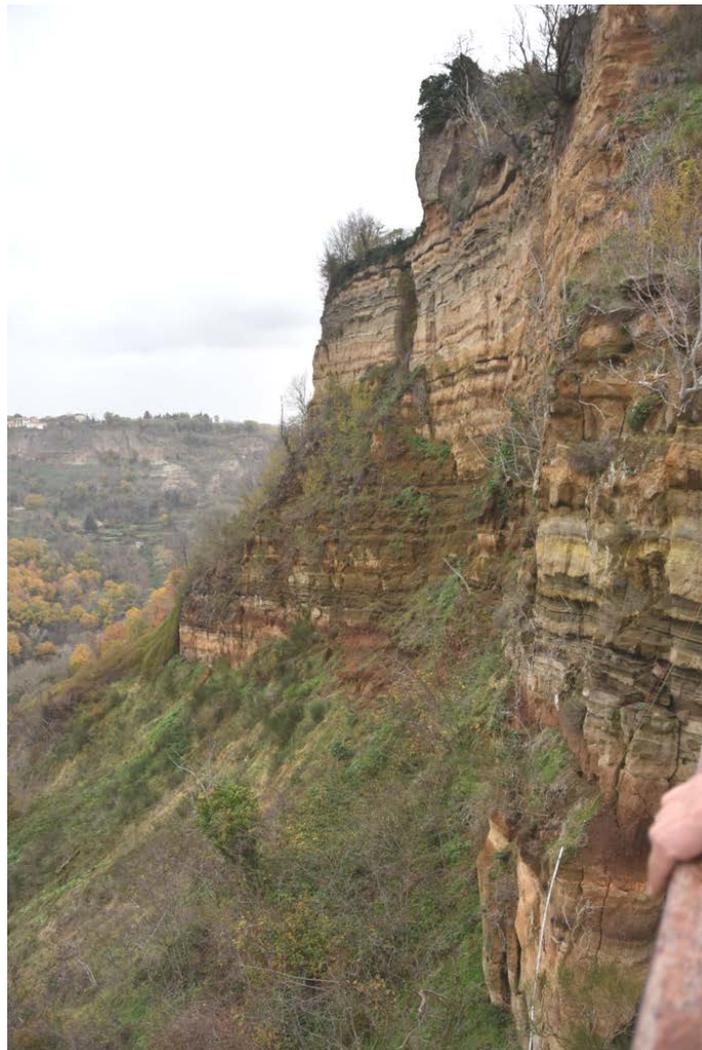


**Figura 3.2.3.3** - Il versante NE della rupe di Civita soggetto a diffusi fenomeni di dissesto



**Figura 3.2.3.4** - *Crollo recente nel versante SE della rupe di Civita sopra l'accesso al convento di San Bonaventura*

Un secondo sopralluogo (12/12/2017) è stato effettuato in supporto all'installazione ed implementazione del sistema di monitoraggio. Sono stati definiti numero, tipologia e ubicazione degli strumenti da installare (Figura 3.2.3.5) .



**Figura 3.2.3.5** - *Area individuata per l'installazione del sistema di monitoraggio in situ per la calibratura delle analisi con dati satellitari*

### 3.3 Monte Orlando e Gianola

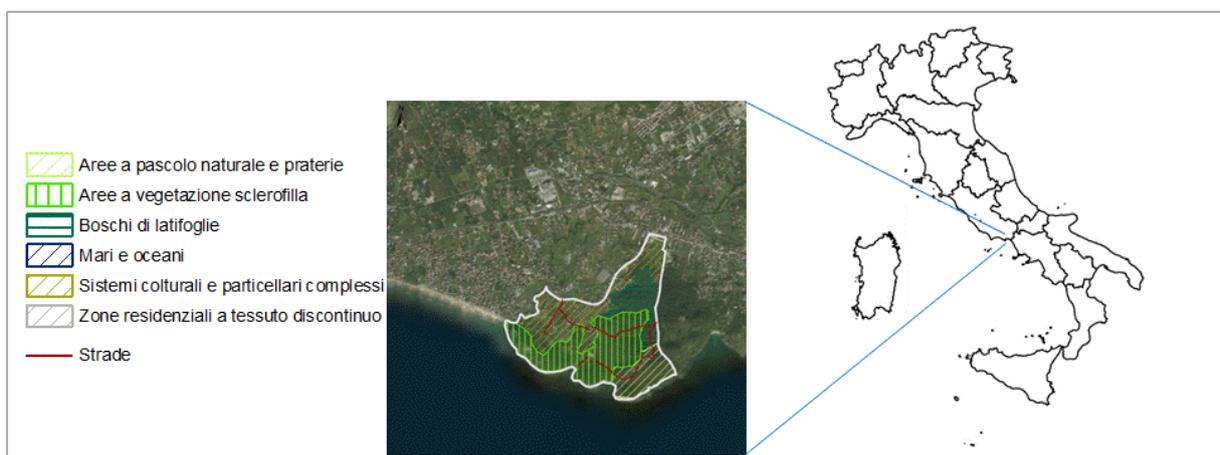
Le figure 3.3.1 e 3.3.2 mostrano rispettivamente le aree di Gianola e Monte Orlando prese in esame nel progetto ArTeK ed analizzate dal punto di vista dell'uso del suolo.

L'area archeologica di Monte Orlando si estende per circa 100 km<sup>2</sup> con la seguente tipologia di uso del suolo: 1,5 % aree portuali, 7 % tessuto urbano continuo, 50 % boschi di latifoglie, 38,2% aree a vegetazione sclerofilla, 3,4% mari e oceani. Il reticolo viario si estende per 1 km di cui il 50% appartenente al sistema viario nazionale ed il 50% restante è a carattere locale (strade private e residenziali).



**Figura 3.3.1 - Monte Orlando: uso del suolo**

L'area di Gianola posta nel tratto più meridionale della costa laziale si espande per circa 192 ettari caratterizzati da una vegetazione rigogliosa residuale in un area fortemente antropizzata e dai resti di un antica villa romana, Villa Mamurra, di cui restano oltre che due cisterne dalla struttura innovativa per l'epoca dette "Maggiore" e "Trentasei colonne", le mura perimetrali delle vasche a mare probabilmente struttura termale, congiunte alla villa dalla grotta Janara, lungo corridoio scavato nella roccia. Del tempio a pianta esagonale dedicato a Giano restano soltanto alcune rovine a causa dei bombardamenti della seconda guerra mondiale. Il territorio è occupato per lo 0,4% da tessuto urbano discontinuo, 34% da sistemi colturali e particellari permanenti, per l'11% da boschi misti, per il 38% da aree a vegetazione sclerofilla, per il 14% da aree a pascolo naturale e praterie, dal 14% da boschi di latifoglie e per lo 0,5% da mari e oceani. Il reticolo stradale si estende per poco meno di 1 km con il 90% del reticolo appartenente al sistema viario nazionale (tipologia terziaria ovvero strade che collegano piccoli centri abitati) e per il resto tratti a carattere locale.



**Figura 3.3.2 - Gianola: uso del suolo**

### 3.3.1 Pericolosità e rischio ambientale aria

Per la definizione della pericolosità ambientale aria a Monte Orlando e a Gianola sono stati raccolti i dati di concentrazione di NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub> e SO<sub>2</sub> e i dati meteorologici prodotti, per il 2017, dal modello atmosferico FARM (ARPA Lazio) con una risoluzione di 4 km x 4 km.

Dalle concentrazioni degli inquinanti atmosferici e dai fattori climatici prodotti dal modello è stato possibile ottenere la stima della pericolosità associata alla recessione superficiale e all'annerimento delle due aree oggetto di studio. Nelle figure 3.3.1.1 e 3.3.1.2 sono riportate le mappe di pericolosità da recessione superficiale per Monte Orlando e Gianola.

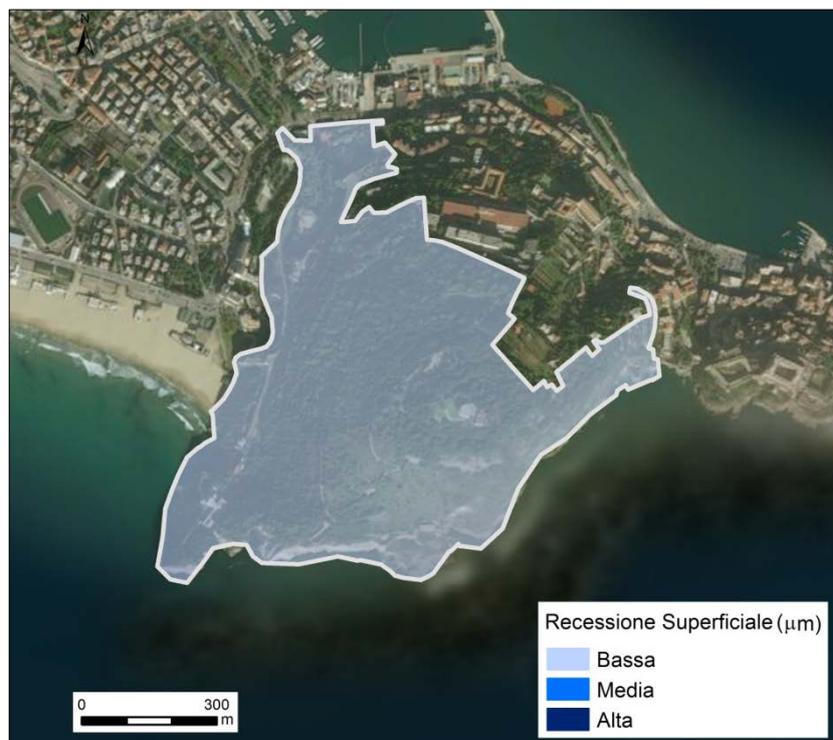


Figura 3.3.1.1 - Monte Orlando: recessione superficiale

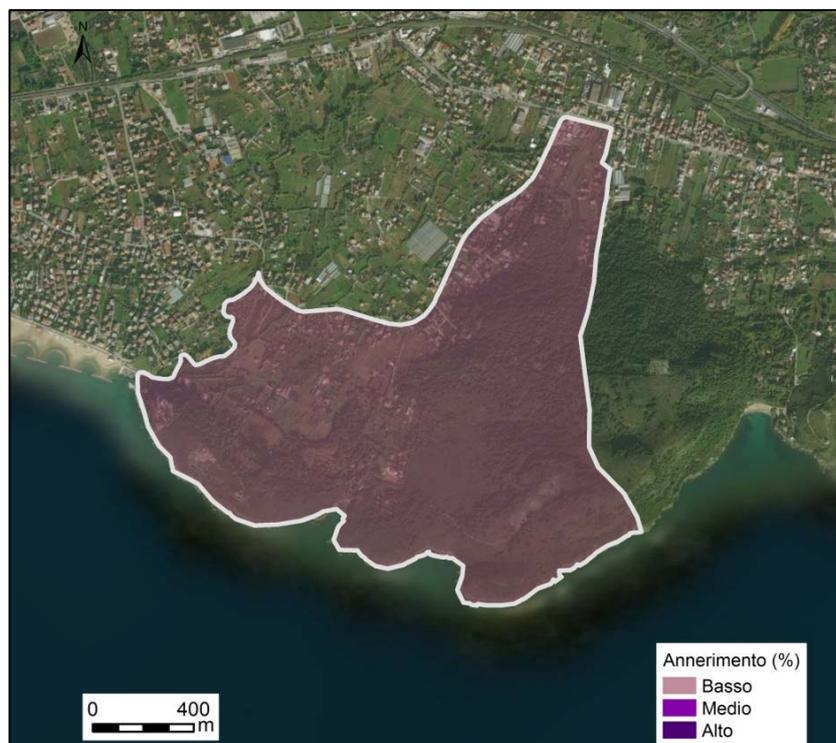


Figura 3.3.1.2 - Gianola: recessione superficiale

La recessione stimata per Monte Orlando e per Gianola è rispettivamente pari a  $5,4 \mu\text{m}$  (pericolosità bassa) e  $7 \mu\text{m}$  (pericolosità media). Nelle figure 3.3.1.3 e 3.3.1.4 sono riportate le mappe di pericolosità associate all'annerimento.



**Figura 3.3.1.3 - Monte Orlando: annerimento**

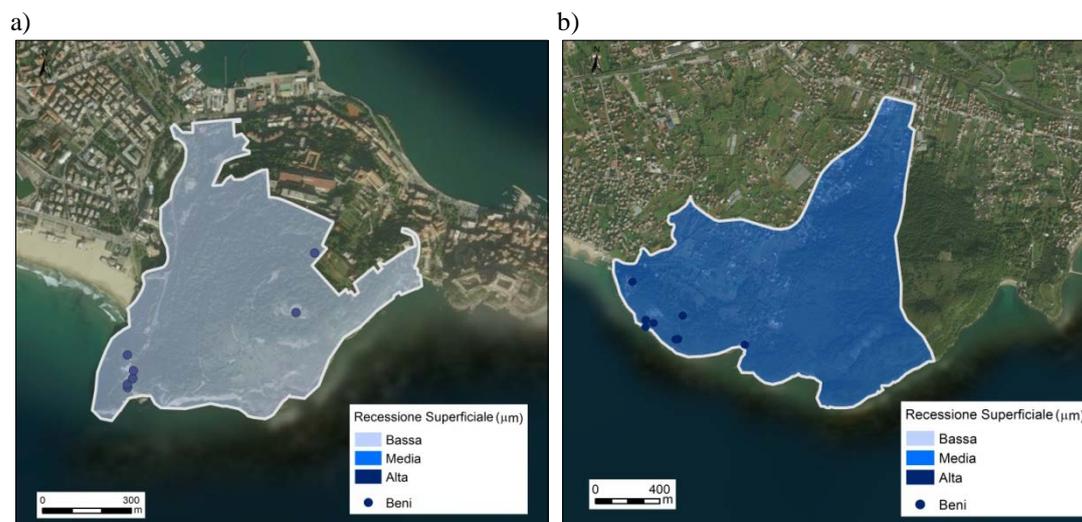


**Figura 3.3.1.4 - Gianola: annerimento**

La diminuzione percentuale di luminosità risulta inferiore al 2% (pericolosità territoriale bassa) per entrambe le aree.

I dati di pericolosità da recessione superficiale e da annerimento sono stati sovrapposti alla distribuzione dei beni georeferiti a Monte Orlando e a Gianola per il calcolo del rischio territoriale. La

figura 3.3.1.5 riporta, a titolo di esempio, la sovrapposizione della pericolosità da recessione superficiale alla distribuzione dei beni presenti nelle due aree di studio.

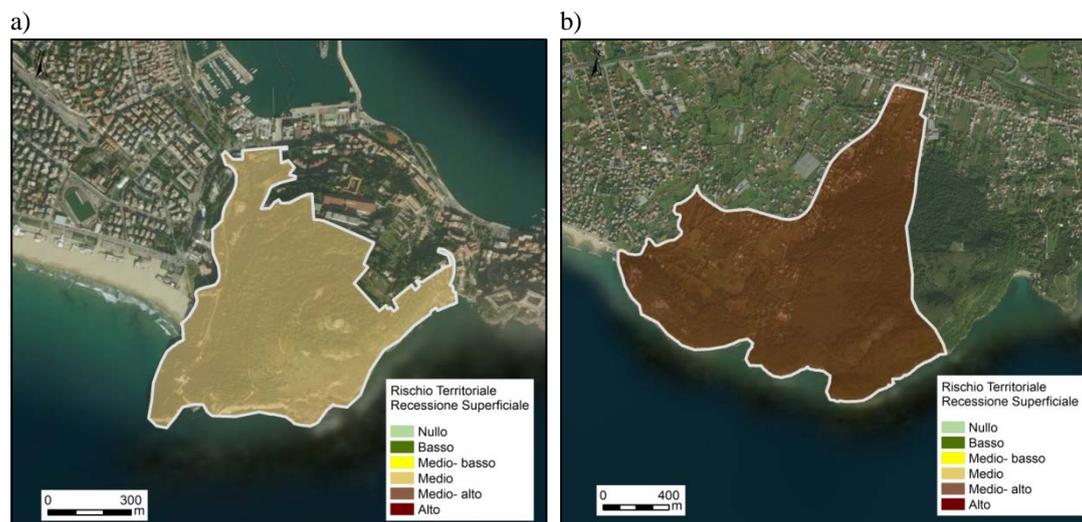


**Figura 3.3.1.5** - Sovrapposizione della mappa di recessione superficiale alla distribuzione dei beni georeferiti in VIR: a) Monte Orlando; b) Gianola

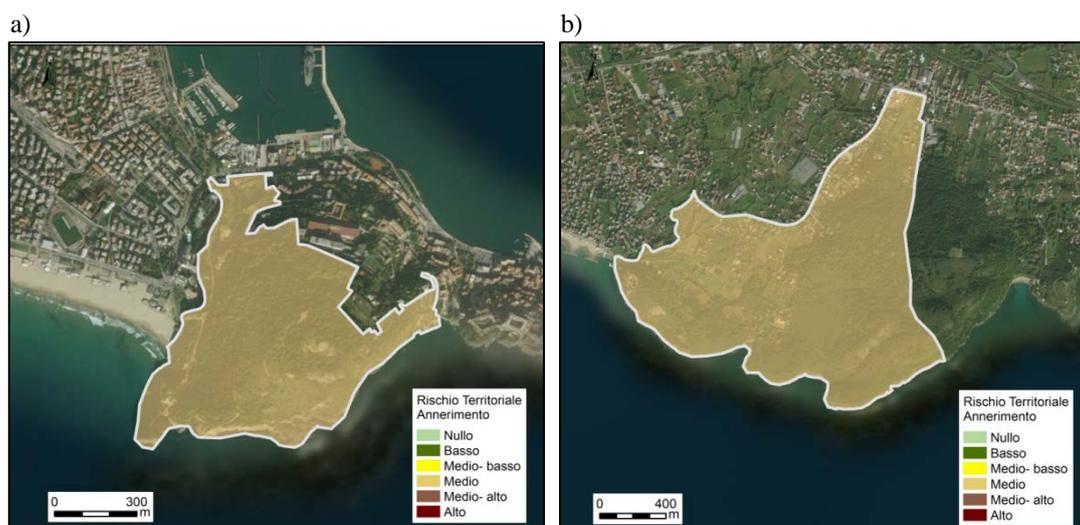
Nelle figure 3.3.1.6 e 3.3.1.7 sono mostrate le mappe di rischio territoriale associate rispettivamente alla recessione superficiale e all'annerimento.

Il rischio territoriale associato alla recessione superficiale risulta medio per Monte Orlando (perché caratterizzato da una pericolosità bassa) e medio- alto per Gianola (perché caratterizzato da una pericolosità media).

Il rischio territoriale da annerimento, essendo la pericolosità stimata bassa, risulta medio per entrambe le aree.



**Figura 3.1.1.6** - Rischio territoriale associato alla recessione superficiale: a) Monte Orlando; b) Gianola



**Figura 3.1.1.7-** Rischio territoriale associato all'annerimento: a) Monte Orlando; b) Gianola

Le mappe di pericolosità da recessione superficiale e da annerimento sono state sovrapposte ai dati di vulnerabilità di alcuni dei beni archeologici selezionati a Gianola, schedati da ISCR, per la stima del potenziale rischio individuale di ogni singolo bene (tabella 3.3.1.1).

**Tabella 3.3.1.1 - Gianola: rischio individuale recessione superficiale dei beni archeologici schedati in situ**

BENI ARCHEOLOGICI	RISCHIO INDIVIDUALE RECESSIONE SUPERFICIALE	RISCHIO INDIVIDUALE ANNERIMENTO
Balneum	Medio-Alto	Medio
Grotta della Janara	Medio-Alto	Medio
Cisterna Maggiore	Medio-Alto	Medio
Cisterna delle 36 colonne	Medio-Alto	Medio

Il rischio individuale stimato per la recessione superficiale risulta medio –alto (perché ottenuto dalla combinazione di una pericolosità media con una vulnerabilità  $V_3$ ); il rischio individuale di annerimento risulta medio (perché ottenuto dalla combinazione di una pericolosità bassa con una vulnerabilità  $V_3$ ).

### 3.3.2 Pericolosità da presenza di impianti PIR (ex RIR)

Nel comune di Gaeta è attualmente ubicato (vedi figura 3.3.2.1) un unico stabilimento PIR attivo, il deposito di Gaeta della società ENI spa, le cui attività consistono nella movimentazione a mezzo oleodotti di prodotti petroliferi al/dal Pontile di Punta Molino, nel loro invio al Deposito ENI di Pomezia (RM), nei trasferimenti interni tra le due aree del Deposito di Gaeta, site in località Arzano e Casalarga, nello stoccaggio di idrocarburi liquidi in serbatoi dedicati e nel loro caricamento in autocisterne tramite pensiline di carico.

Si tratta di uno stabilimento di soglia superiore, ai sensi del D.lgs.105/2015, in cui sono presenti prodotti petroliferi di cui alla voce n.34, come individuata nell'allegato 1 parte seconda di tale decreto (quali benzina, gasolio e cherosene) e, in minori quantità, altre sostanze liquide infiammabili (di categoria Seveso P5c di Allegato 1 parte prima) e pericolose per l'ambiente (di categoria Seveso E2 di Allegato 1 parte prima).

Il deposito ENI spa, il cui perimetro è individuato nella figura 3.3.2.1 con le linee di colore verde (che delimitano le due aree di stoccaggio ed il pontile a mare, su cui è centrato un cerchio di colore verde con raggio di 2 km), è ubicato a Nord del centro abitato di Gaeta.

Secondo quanto riportato nella notifica, gli unici scenari incidentali ipotizzabili con conseguenze all'esterno del deposito sono originati al pontile per il rilascio di benzina per rottura del braccio di carico o di tubazione, con possibilità di incendio della pozza rilasciata in mare o della nube di vapori dispersi in aria o di dispersione di benzina liquida sulla superficie marina.

In caso di accadimento, lo scenario che determinerebbe la potenziale area massima di danno (corrispondente alla zona II di danno riportata nella sezione M della notifica ed indicata nella stessa figura 3.3.2.1 dal cerchio di colore arancione) sarebbe quello di incendio da pozza con un raggio pari a 45 metri; le zone di danno dichiarate dal gestore per gli altri scenari al pontile restano all'interno del cerchio arancione (rispettivamente con raggi massimi di 20 e 22 metri per la zona I di sicuro impatto e di 28 e 33 m per la zona II di danno).

Nella figura 3.3.2.1 l'area massima di danno - zona II (cerchio di colore arancione) associata allo stabilimento PIR censito nel comune di Gaeta è messa in relazione con i perimetri delle aree che includono i beni culturali presenti nel comune di Gaeta (punti viola) e nel sito di Monte Orlando (punti viola all'interno della linea di colore grigio). La figura evidenzia che le aree di danno interesserebbero unicamente lo specchio a mare circostante il pontile e, pertanto, l'assenza di impatti per gli incidenti rilevanti ipotizzabili nel deposito ENI spa sui beni culturali presenti nel comune di Gaeta.



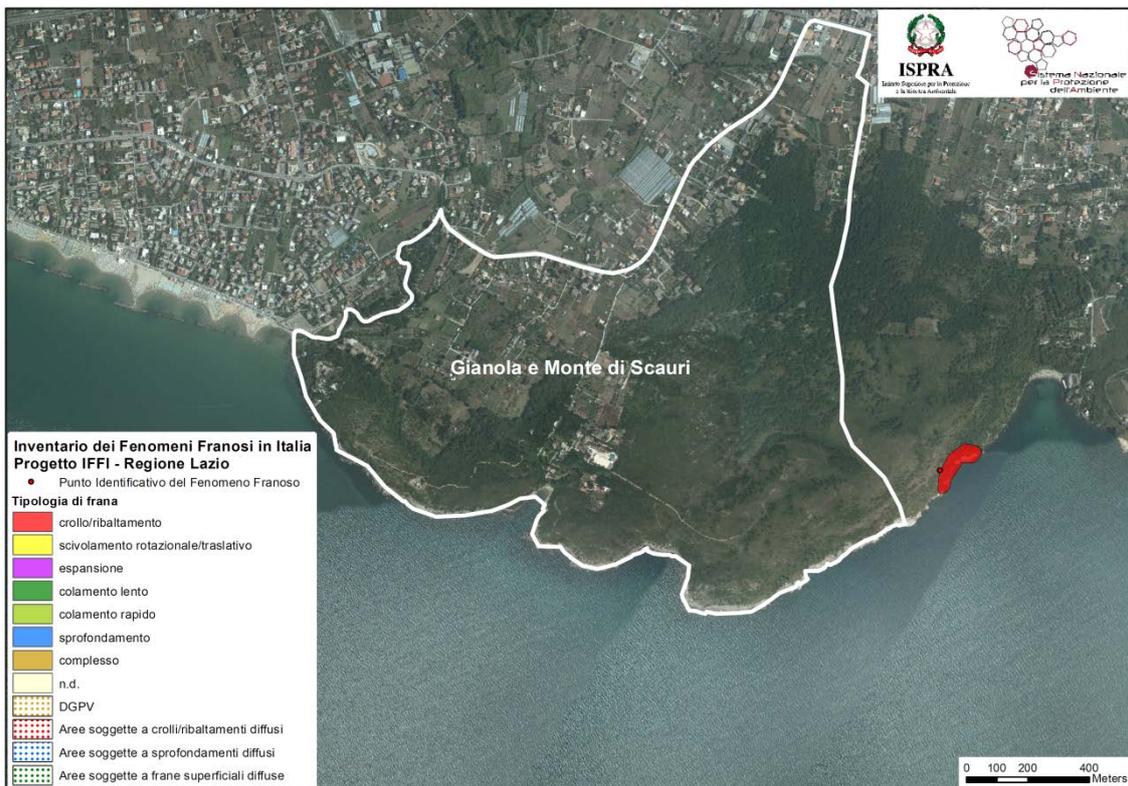
**Figura 3.3.2.1** - Gaeta: collocazione dei beni culturali e dello stabilimento PIR con indicazione area massima di danno ad esso associata

### 3.3.3 Pericolosità di origine naturale

Anche nel caso di studio di Gianola e Monte Orlando, i dati di base forniti per la definizione del livello di pericolosità naturale, sono stati aggiornati e calibrati (ove possibile) attraverso sopralluoghi nelle aree test. Nello specifico nel parco Naturale regionale di Gianola e Monte di Scauri è stato effettuato un sopralluogo il 10 agosto 2017 con i seguenti obiettivi:

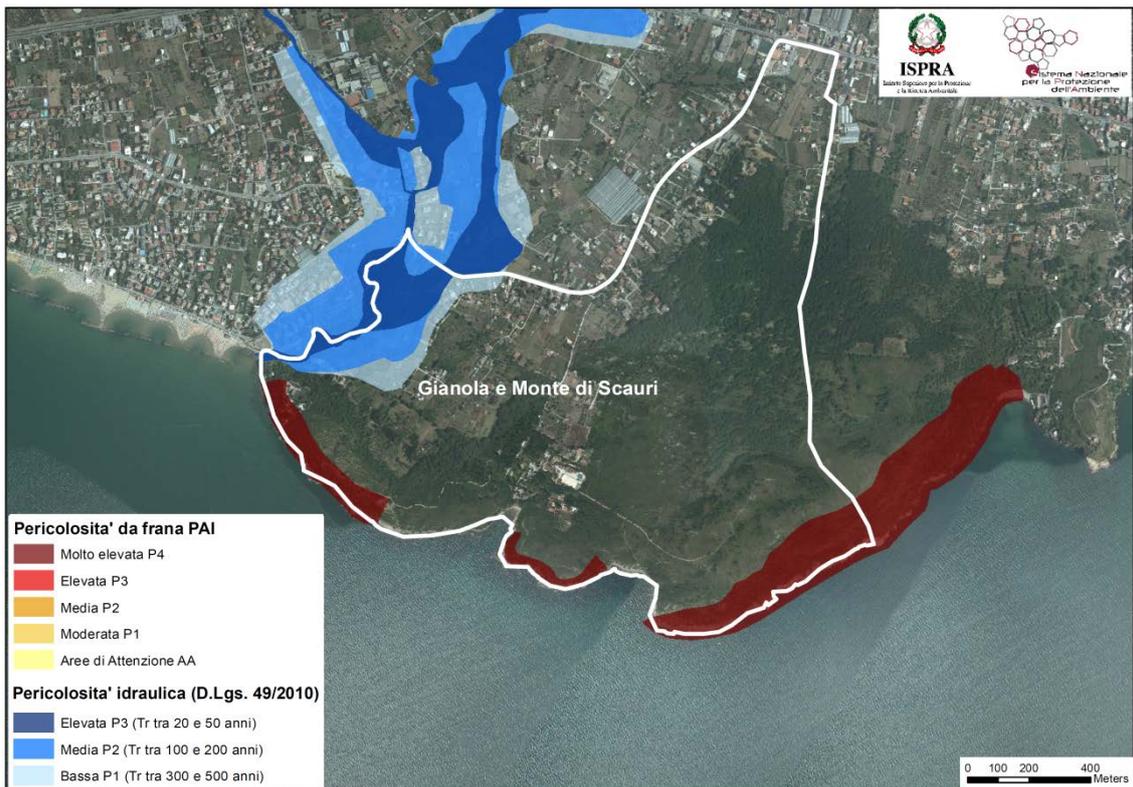
- verificare e aggiornare (ove possibile) la distribuzione dei fenomeni di dissesto censiti, la loro tipologia e lo stato di attività;
- individuare in via preliminare le zone più attive per la successiva calibratura delle analisi condotte con i dati satellitari (ottiche e radar).

Nella figura 3.3.3.1 viene riportata la mappa dei fenomeni franosi contenuti nell'Inventario IFFI.



**Figura 3.3.3.1** - *Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia nel sito di Gianola*

Nella figura 3.3.3.2 e 3.3.3.3. vengono riportate le mappe della pericolosità da frana dei PAI e delle aree a pericolosità idraulica per il sito di Gianola e per Monte Orlando.



**Figura 3.3.3.2** - Aree a pericolosità da frana PAI e aree a pericolosità idraulica (Scenari D. Lgs. 49/2010) nel sito di Gianola (Fonte: Mosaicature ISPRA 2017)



**Figura 3.3.3.3** – Aree a pericolosità da frana PAI nel sito di Monte Orlando (Fonte: Mosaicature ISPRA 2017)

---

Nelle figure 3.3.3.4 e 3.3.3.5 sono osservabili alcuni fenomeni di dissesto individuati nel corso del sopralluogo.



**Figura 3.3.3.4** - *Fenomeni di instabilità presenti e censiti nel parco naturale di Gianola in occasione del sopralluogo del 10/08/2017*



**Figura 3.3.3.5** - *Fenomeni di instabilità presenti e censiti nel parco naturale di Gianola in occasione del sopralluogo del 10/08/2017*

### 3.4 Baia

L'area archeologica terrestre di Baia si sviluppa su circa 2,7 km<sup>2</sup>. Secondo la classificazione del Corine Land Cover (III livello) circa il 35% del territorio è tessuto urbano discontinuo, il 30% è caratterizzato da vigneti e il 35% da aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione.

E' attraversata da un reticolo stradale lungo complessivamente 2,6 km dei quali il 56,7% di tipo secondario, il 26,7% di tipo terziario e il 16,6% a carattere locale.

L'immagine sottostante (Figura 3.4.1) mostra le categorie di uso del suolo e l'area interessata.



Fig 3.4.1 - Baia: uso del suolo

#### 3.4.1 Pericolosità e rischio ambientale aria

Per Baia sono stati raccolti i dati di concentrazione di NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub> e SO<sub>2</sub> e i valori climatici (temperatura, umidità relativa e precipitazioni) prodotti dal modello atmosferico CHIMERE (ARPA Campania), per il 2017, con una risoluzione di 5 km x 5 km. I dati degli inquinanti atmosferici e dei fattori climatici sono stati utilizzati per la stima della pericolosità associata alla recessione superficiale e all'annerimento nell'area oggetto di studio. Nelle figure 3.4.1.1 e 3.4.1.2 sono riportate le mappe di pericolosità da recessione superficiale e annerimento elaborate per Baia. La recessione superficiale stimata risulta essere di 5,7 µm (pericolosità bassa).



Figura 3.4.1.1 - Baia: recessione superficiale

La diminuzione percentuale di luminosità risulta inferiore al 2% (pericolosità bassa).

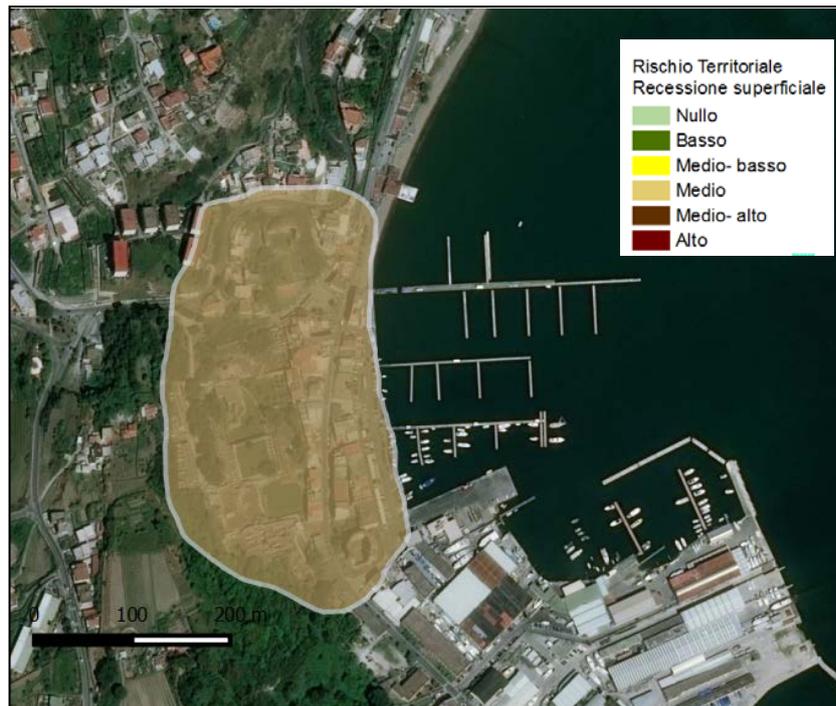


**Figura 3.4.1.2** - Baia : annerimento

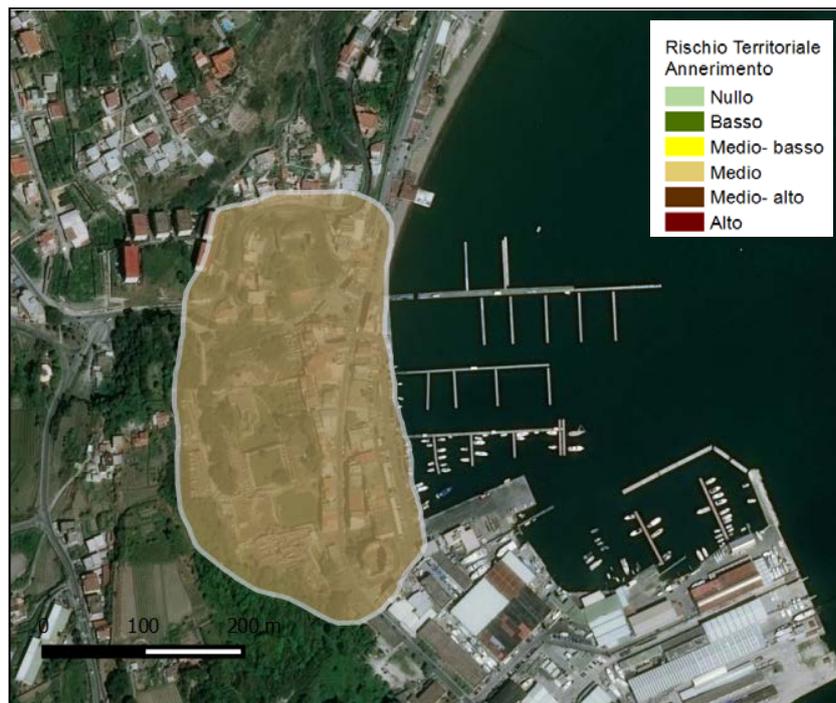
La sovrapposizione dei dati di pericolosità alla distribuzione dei beni presenti nella banca dati VIR (Figura 3.4.1.3), ha consentito la stima del rischio territoriale da recessione superficiale e da annerimento (Figura 3.4.1.4 e Figura 3.4.1.5).



**Figura 3.4.1.3** - Baia: sovrapposizione della mappa di recessione superficiale alla distribuzione dei beni georeferiti in VIR



**Figura 3.4.1.4** - Baia: rischio territoriale da recessione superficiale



**Figura 3.4.1.5** - Baia: rischio territoriale da annerimento

### 3.4.2 Pericolosità per presenza di impianti PIR (ex RIR)

Nella zona oggetto di studio non sono presenti impianti PIR.

### 3.4.3 Pericolosità di origine naturale

Il sito di Baia è interessato da alcune aree a pericolosità da frana elevata PAI, così come riportato in figura 3.4.3.1.

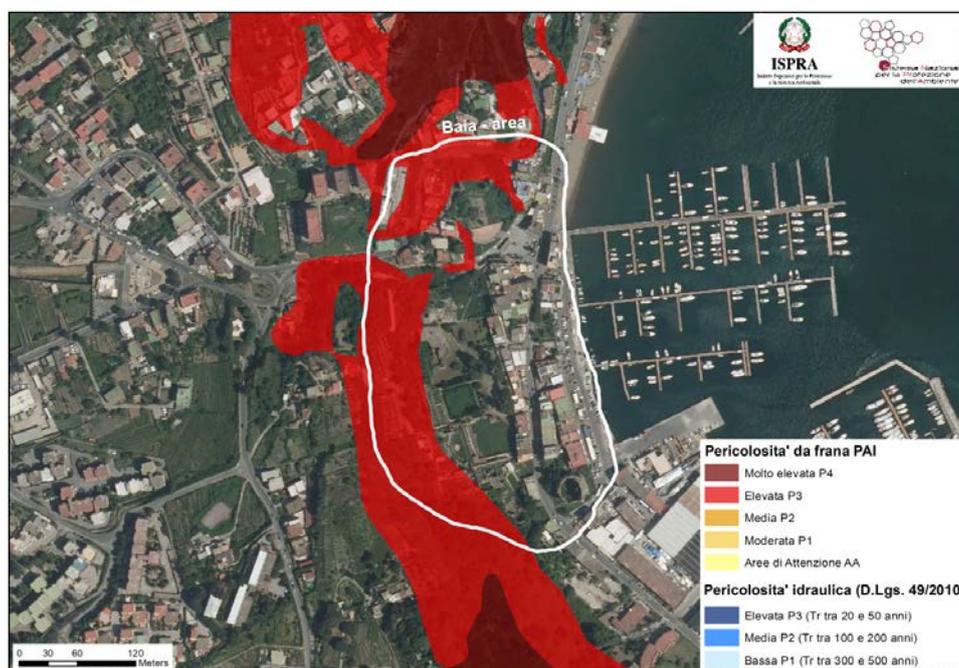


Figura 3.4.3.1 - Aree a pericolosità da frana PAI nel sito di Baia (Fonte: Mosaicature ISPRA 2017)

Nelle figure 3.4.3.2, 3.4.3.3 e 3.4.3.4 sono osservabili alcuni fenomeni di dissesto individuati nel corso del sopralluogo.

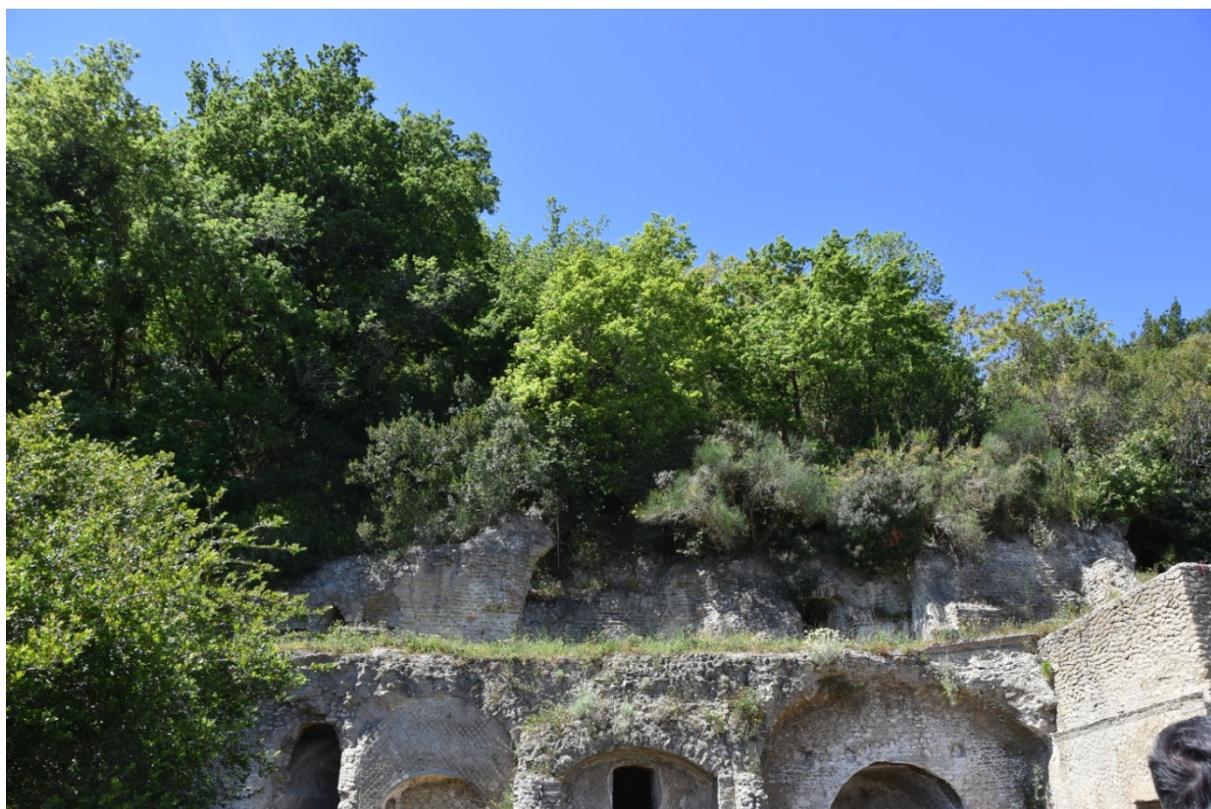
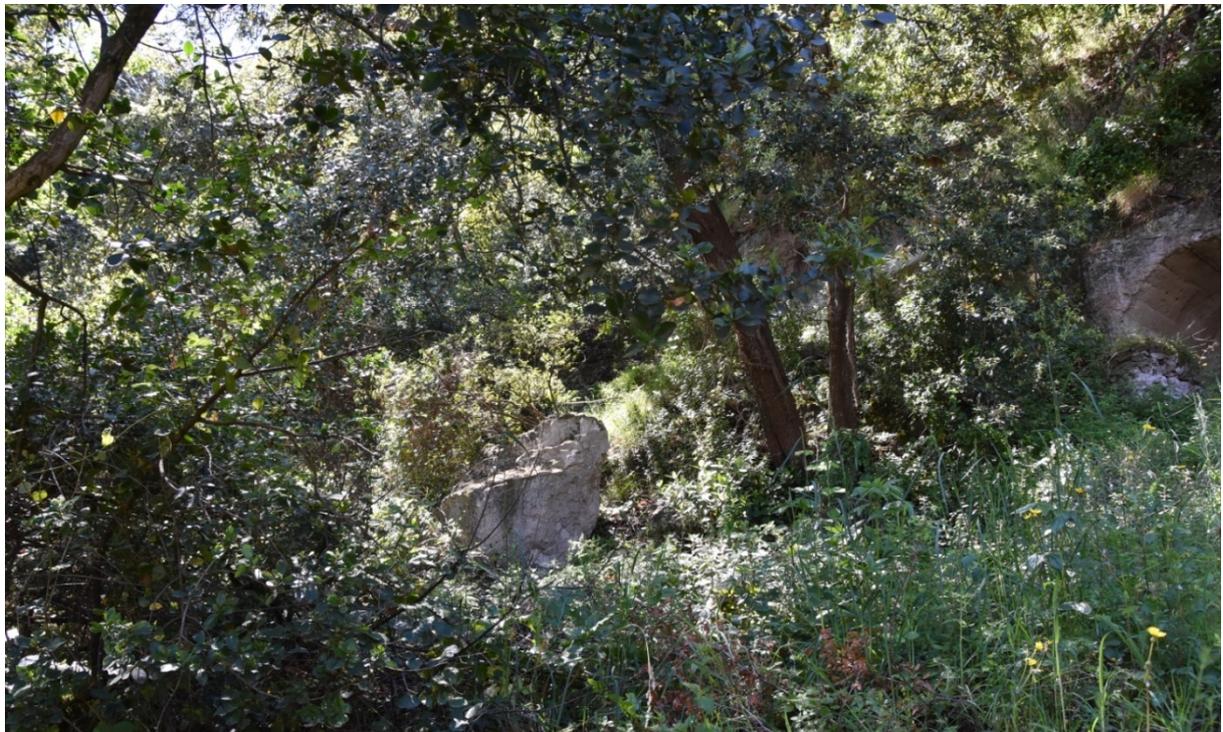


Figura 3.4.3.2 - Sviluppo incontrollato della vegetazione nella parte alta del complesso termale, a contatto con la parete tufacea con presenza di fenomeni di instabilità (crolli e ribaltamenti)



**Figura 3.4.3.3** - *Esempio di lesioni parallele al versante lungo una delle discese nel complesso archeologico*

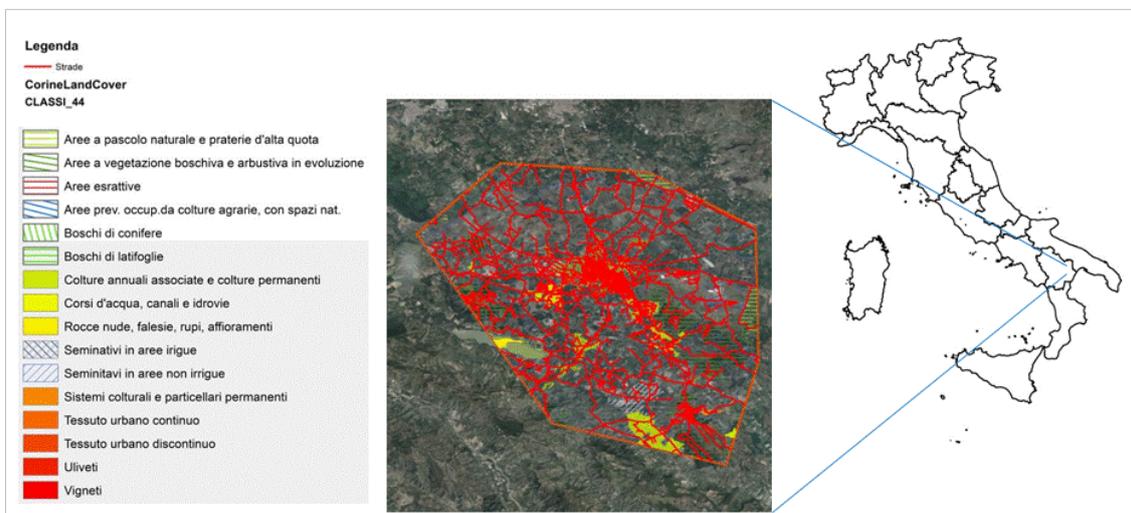


**Figura 3.4.3.4** - *Masso crollato nella parte Sud del complesso*

## 3.5 Matera

Matera, la *Città dei Sassi*, è un città della Basilicata, dal 1993 dichiarata Patrimonio dell'Umanità dall'Unesco.

Secondo la classificazione del Corine Land Cover (Figura 3.5.1) il buffer analizzato è occupato dalla seguente tipologia di suolo: seminativi in aree non irrigue (68,7%), boschi di latifoglie (8,5%), aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota (6,3%), colture annuali associate e colture permanenti (8,1%), sistemi colturali e particellari permanenti (2%), da aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione (1,4%), da seminativi in aree irrigue (1,3%), da tessuto urbano continuo (1%), da aree prevalentemente occupate da colture agrarie con spazi naturali (0,6%), da boschi di conifere (0,5%), da corsi d'acqua, canali e idrovie (0,6%). Il reticolo viario nell'area di interesse (come individuato nella figura 3.5.1.) si estende per circa 120 km di cui meno del 9% a carattere locale ed il restante appartenente al reticolo viario nazionale.



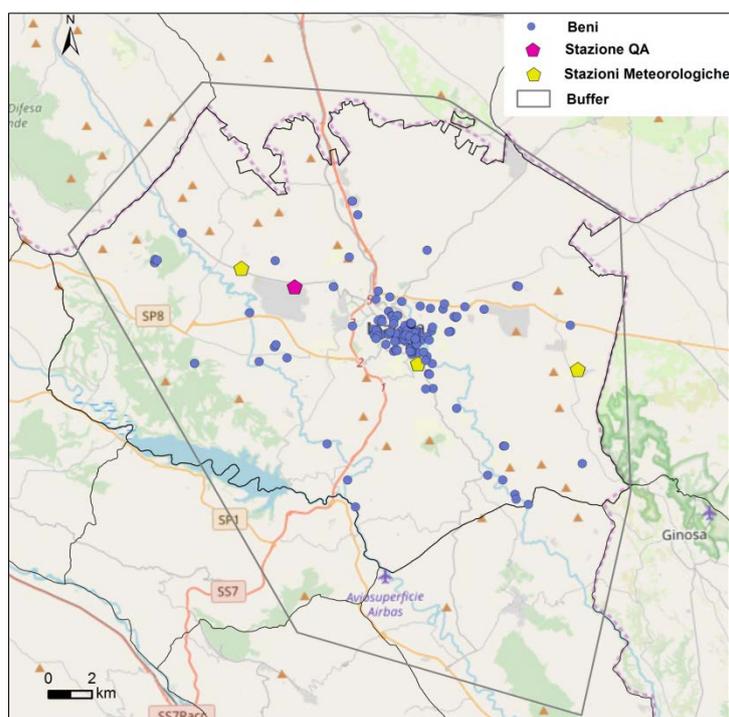
**Figura 3.5.1** - Matera: uso del suolo del buffer analizzato

### 3.5.1 Pericolosità e rischio ambientale aria

Per l'elaborazione degli indicatori di pericolosità e di rischio ambientale aria per il sito di Matera, sono state raccolte le informazioni ambientali registrate dalle stazioni meteorologiche e dalla centralina di monitoraggio della qualità dell'aria presenti sul territorio comunale (Figura 3.5.1.1), a causa della mancanza di disponibilità di dati spazializzati prodotti da modelli atmosferici.

Poiché i dati di concentrazione del particolato atmosferico registrati dalla centralina presente a Matera sono disponibili fino al 2012, per la stima della recessione superficiale e dell'annerimento sono state utilizzate le concentrazioni di  $PM_{10}$  fornite dal CNR-IMAA di Potenza (uno dei partner del progetto ArTeK) ricavate, per il 2016 e il 2017, da osservazioni satellitari (Landsat).

La centralina di monitoraggio della qualità dell'aria, una stazione suburbana industriale, è situata presso la località La Martella.



**Figura 3.5.1.1** - Matera: localizzazione della centralina di monitoraggio della qualità dell'aria e delle stazioni meteorologiche

I valori delle concentrazioni degli inquinanti e dei parametri meteorologici (2016 e 2017), sono stati utilizzati per il calcolo della recessione superficiale.

Nel caso di Matera non essendo disponibili le concentrazioni spazializzate degli inquinanti, la pericolosità associata alla recessione superficiale non è stata calcolata su tutto il territorio comunale ma è stata stimata in prossimità della stazione di monitoraggio della qualità dell'aria (tabella 3.5.1.1); inoltre, non avendo un dato spazializzato, non è stato possibile stimare il rischio territoriale e il rischio individuale/locale associati a questa forma di degrado.

**Tabella 3.5.1.1** - Matera: recessione superficiale stimata in corrispondenza della centralina La Martella

	RECESSIONE SUPERFICIALE ( $\mu\text{m}$ )
2016	5,6
2017	4,8

Per entrambi gli anni, la recessione superficiale a Matera risulta inferiore a  $6,4 \mu\text{m}/\text{anno}$  (pericolosità bassa) con una diminuzione della pericolosità nel 2017 probabilmente attribuibile alla diminuzione dei valori dei parametri meteorologici.

Poiché sono stati utilizzati i dati di concentrazione spazializzati di  $\text{PM}_{10}$ , per la pericolosità territoriale associata all'annerimento è stato possibile quantificare il danno sull'intero comune.

Lo sporco espresso come perdita percentuale di luminosità delle superfici risulta, dalla stima effettuata, inferiore al 2% sull'intero comune (pericolosità bassa).

La combinazione tra il dato di pericolosità territoriale di annerimento e i dati di vulnerabilità forniti da ISCR per alcuni beni architettonici selezionati nel sito, ha consentito il calcolo del rischio individuale a scala locale<sup>12</sup>. A causa dell'omogeneità della pericolosità di annerimento su tutto il territorio, il rischio locale stimato dipende, anche in questo caso, dal dato di vulnerabilità dei beni schedati da ISCR (tabella 3.5.1.2).

<sup>12</sup> Le concentrazioni di  $\text{PM}_{10}$  utilizzate per il calcolo dell'annerimento hanno una risoluzione di  $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$

**Tabella 3.5.1.2 - Matera - Rischio locale di annerimento dei beni architettonici schedati in situ**

<b>BENI ARCHITETTONICI</b>	<b>RISCHIO LOCALE ANNERIMENTO</b>
Chiesa detta di S. Guglielmo	Basso
Chiesa di Santa Maria delle Grazie	Basso
Ex Convento di Sant'Agostino	Basso
Chiesa di S. Pietro Caveoso	Basso
Cripta di San Donato	Basso
Cripta di S. Antonio Abate	Medio
Cripta di S. Eligio	Medio
Cripta detta delle Tempe Cadute	Basso
Chiostro dell'ex Convento di Sant'Agostino	Basso
Campanile dell'ex complesso conventuale di S. Agostino	Basso
Chiesa di S. Lucia alle Malve	Basso
Chiesa di Santa Maria in Idris	Basso
Cripta di S. Giovanni in Monterrone	Medio
Chiesa di S. Barbara	Medio
Cripta del Peccato Originale	Basso

### 3.5.2 Presenza di stabilimenti PIR (ex RIR)

Nel comune di Matera è attualmente ubicato (vedi figura 3.5.2.1) un unico stabilimento PIR attivo, lo stabilimento S.I.P. Sud Italia Poliuretani S.r.l., le cui attività consistono nella produzione di Poliuretano Espanso Flessibile, con diversa densità ed in diversi formati e colori, per i più svariati utilizzi industriali.

Le principali operazioni svolte nello stabilimento sono lo stoccaggio e lo scarico delle materie prime e delle altre sostanze necessarie al processo produttivo (Tolueno Di-Isocianato -TDI, Difenilmetano isocianato-MDI, Polioli, GPL, coloranti, additivi, ecc., solidi o liquidi), la produzione del Poliuretano Espanso Flessibile, basata sulla reazione tra Poliolo ed Isocianati (TDI e MDI) con formazione del poliuretano in una macchina schiumatrice, costituita da una testa di miscelazione e da un tunnel dove ha luogo l'espansione della miscela, il taglio in blocchi di Poliuretano Espanso ed il raffreddamento e lo stoccaggio del prodotto in magazzini dedicati.

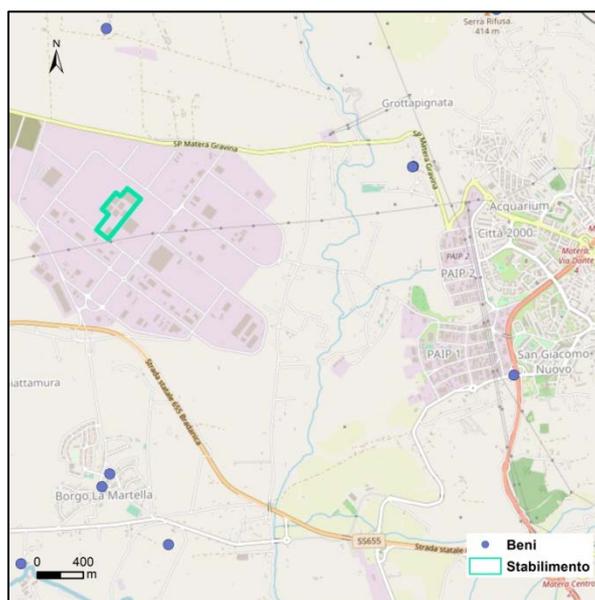
Si tratta di uno stabilimento di soglia superiore, ai sensi del D.lgs.105/2015, per la presenza in quantità significativa di TDI (miscela di 2,4-Diisocianato ditoluene e di 2,6-Diisocianato di toluene), sostanza tossica elencata, come voce n.26, nell'allegato 1 parte seconda di tale decreto.

Lo stabilimento S.I.P. Sud Italia Poliuretani srl, il cui perimetro è individuato nella figura 3.5.2.1 con le linee di colore turchese, è ubicato nella frazione La Martella, a Nord Ovest del centro abitato di Matera.

Secondo quanto riportato nella notifica e nel rapporto di sicurezza, valutato dalle Autorità competenti, gli scenari incidentali ipotizzabili nello stabilimento sono originati: da rilasci di TDI dai serbatoi di stoccaggio durante le operazioni di travaso da autobotte, per malfunzionamenti della macchina schiumatrice, per perdite da accoppiamento flangiato o dalla tenuta della pompa di dosaggio in reparto o nel locale serbatoi; da incendio in magazzino di stoccaggio del Poliuretano Espanso Flessibile, con dispersione in atmosfera dei fumi tossici di combustione; da incendio di GPL in fase liquida o vapore a causa di rilascio per rottura.

La notifica evidenzia che nessuno degli scenari incidentali sopra descritti, identificati dalla società e considerati nel Piano di Emergenza Esterna predisposto dal Prefetto, ha effetti all'esterno dello stabilimento S.I.P. Sud Italia Poliuretani S.r.l e non interessa quindi elementi sensibili e le abitazioni del vicino villaggio La Martella.

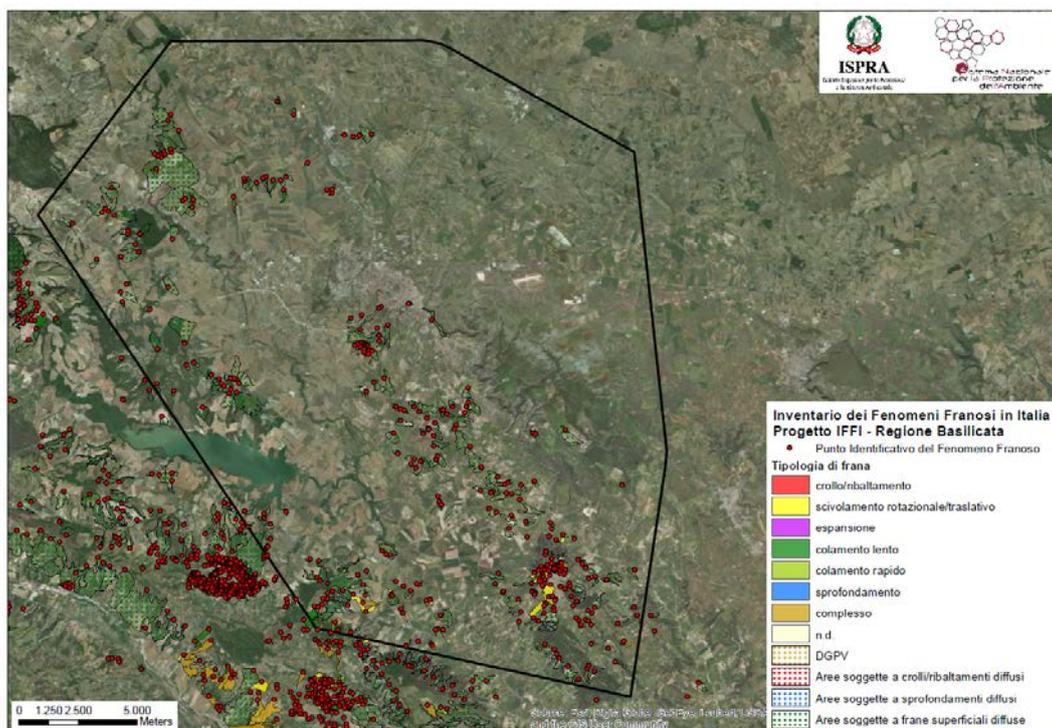
Quanto sopra vale, ovviamente, anche per i beni culturali presenti nel comune di Matera, individuati nella figura 3.5.2.1 dai punti di colore blu, che si riportano per completezza di analisi nel presente documento.



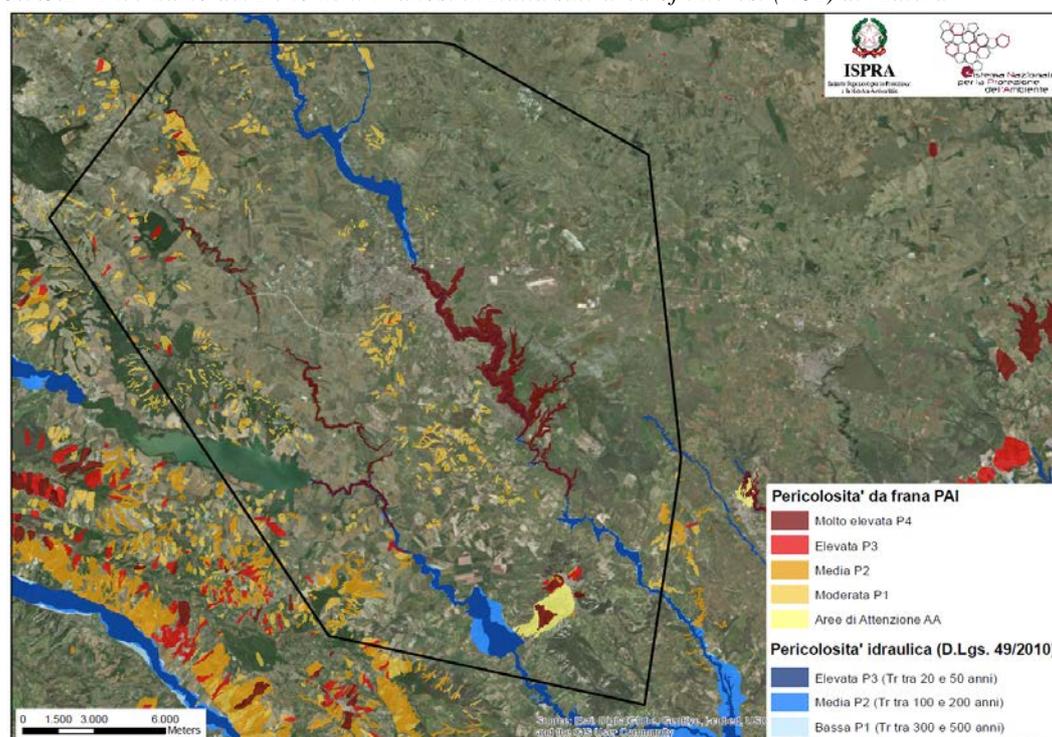
**Figura 3.5.2.1** - Matera: collocazione dei beni culturali e degli stabilimenti PIR (NB per lo stabilimento non sono ipotizzabili incidenti rilevanti con impatto all'esterno)

### 3.5.3 Pericolosità naturale

L'estrazione dei dati di pericolosità naturale sull'Area di Matera ha evidenziato la presenza di poligoni di frane e di aree soggette a frane superficiali diffuse dell'Inventario IFFI e la presenza di aree a pericolosità da frana (P4, P3, P2, P1, AA) e idraulica (Scenari P3, P2, P1) soprattutto lungo le gravine di Matera e di Picciano (Figure 3.5.3.1 e 3.5.3.2).



**Figura 3.5.3.1 - Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia sull'area of interest (AOI) di Matera**



**Figura 3.5.3.2 - Aree a pericolosità da frana PAI e aree a pericolosità idraulica - Scenari D. Lgs. 49/2010 sull'AOI di Matera (Fonte: Mosaicature ISPRA 2017)**

---

## CONCLUSIONI

La raccolta dei dati di concentrazioni degli inquinanti atmosferici e dei parametri meteorologici ha consentito la stima, per ciascun sito, della pericolosità e del rischio da recessione superficiale e da annerimento per i beni architettonici ed archeologici presenti nei siti pilota esaminati nel progetto.

Per tutte le aree considerate in ArTeK, il danno associato alla recessione superficiale e all'annerimento, stimato al 2017, è risultato generalmente basso.

La combinazione tra i dati elaborati da ISPRA (pericolosità) e le informazioni ricavate da ISCR (vulnerabilità) ha consentito di individuare, in prima approssimazione, quei beni che potrebbero essere a maggiore rischio di degrado e che quindi necessitano di un monitoraggio più frequente sia del loro stato di conservazione che del territorio con cui interagiscono.

Per quanto riguarda la pericolosità associata alla presenza eventuale di impianti PIR (già RIR), questi ultimi sono stati rilevati solo a Tivoli, Gianola e Matera, ma in tutti e tre i casi gli scenari incidentali esterni agli stabilimenti, riportati nei piani di sicurezza, non interessano le aree occupate dai beni architettonici e archeologici oggetto di studio.

ISPRA ha effettuato, per i siti di analisi, l'estrazione delle informazioni e delle cartografie tematiche di pericolosità naturale a partire da banche dati disponibili sull'intero territorio nazionale. Sulla base di tali dati di input, le tecniche e le procedure di monitoraggio adottate durante il progetto ArTeK hanno fornito un'interpretazione preliminare di tipo dinamico. I primi risultati ottenuti dalle diverse tipologie di monitoraggio *in situ*, satellitare (radar e/o ottico) o di dettaglio (UAV, sistema *real time*) per i diversi siti pilota devono essere accompagnati dalle verifiche dirette di calibratura.

---

## BIBLIOGRAFIA

Accardo G., Altieri A., Cacace C., Giani E., Giovagnoli A. (2002), *Risk map: a project to aid decision-making in the protection, preservation and conservation of Italian cultural heritage*, Conservation Science, pp 44-49.

Cacace C., Giovagnoli A., Gaddi R., Cusano M., Bonanni P., *Gli impatti dei cambiamenti climatici e dell'inquinamento atmosferico sui beni culturali di Ancona* Bollettino ICR, n. 28, 2014, p 47- 67, ISBN 9788840450810.

Cacace C., Fiorani D. (2008), *Sistema Informativo Territoriale della Carta del Rischio. Schedature di Chiese in Abruzzo e Molise e calcolo della loro vulnerabilità*, Atti 12<sup>a</sup> conferenza nazionale ASITA – L'Aquila 21-24 ottobre 2008.

Canuti P., Casagli N. (1996) Considerazioni sulla valutazione del rischio di frana. CNR-GNDICI e Regione Emilia Romagna, Pubbl. n. 846, Tip. Risma, Firenze, 57pp.

Corcelli A., Ioannilli M., Cacace C. (2008), *Progettazione e sperimentazione di un modello di analisi multi-hazard per la valutazione del rischio locale dei beni culturali*. Atti 12<sup>a</sup> conferenza nazionale ASITA – L'Aquila 21-24 ottobre 2008.

De la fuente D., Vega J.M., Vieji F., Diaz I., Morcillo M., (2011) “*City scale assessment model for air pollution effects on the cultural heritage*”, Atmospheric Environment 45, 1242-1250.

Fell R., Corominas J., Bonnard C., Cascini L., Leroi E., Savage W.Z. on behalf of the JTC-1 Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes. *Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning*. Engineering Geology 102 (2008) 85–98. Published by Elsevier B.V. doi:10.1016/j.enggeo.2008.03.022.

Grossi CM, Brimblecombe P. (2007), *Effect of long-term changes in air pollution and climate on the decay and blackening of European stone buildings*, *Building Stone Decay: From Diagnosis to Conservation* - Special Publication no 271 (Geological Society Special Publication), 117-130.

Gaddi R., Cusano M., Bonanni P., Cacace C., Giovagnoli A., Barbini F., Di Giulio A., Fausti D., Gargaruti C., Listrani S., Sacco F. (2017) *Inquinamento atmosferico e beni culturali: effetti sui materiali a Roma*, Rapporto ISPRA 270/2017, ISBN 978-88-448-0847-1.

ICR (1996) La cartografia tematica, carta del rischio del patrimonio culturale, ministero per i beni culturali ed ambientali – ufficio centrale per i beni archeologici, architettonici, storici ed artistici – istituto centrale per il restauro, vol.1- A.t.i. Maris.

ICR (1996) Il sistema informativo della carta del rischio, carta del rischio del patrimonio culturale, ministero per i beni culturali ed ambientali – ufficio centrale per i beni archeologici, architettonici, storici ed artistici – istituto centrale per il restauro, vol.4- A.t.i. Maris.

ISPRA (2015) *Annuario dei Dati Ambientali - Tematiche in primo piano 2014-2015*. Capitolo Mare e ambiente costiero. ISPRA, Stato dell'Ambiente, 60/2015.

ISPRA (2019) *Annuario dei Dati Ambientali – Edizione 2018*. Capitolo Pericolosità geologiche. Indicatori: Beni culturali esposti a pericolosità sismica, Beni culturali esposti a pericolosità vulcanica, Aree a pericolosità idraulica, Inventario dei fenomeni franosi d'Italia (IFFI), Aree a pericolosità da frana PAI, Beni culturali esposti a frane e alluvioni. ISPRA, Stato dell'Ambiente, 84/2019.

Mapping of Effects on Materials- Chapter IV (2015)  
[http://icpmapping.org/Latest\\_update\\_Mapping\\_Manual](http://icpmapping.org/Latest_update_Mapping_Manual)

MULTI-ASSESS Project Model Model for multi-pollutant impact and assessment of threshold levels for cultural heritage. Deliverable 02. Publishable Final Report (2007). (<http://www.corr-institute.se/MULTI-ASSESS>).

Spizzichino D., Cacace C., Iadanza C., Trigila A. *Beni culturali e rischio idrogeologico in Italia*. Bollettino ICR, 27/2013, 25-35.

---

Trigila A., Iadanza C., Bussetini M., Lastoria B., Barbano A. (2015) *Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio*. Rapporto 2015. ISPRA, Rapporti 233/2015.

Trigila A., Iadanza C., Bussetini M., Lastoria B. (2018) *Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio*. Edizione 2018. ISPRA, Rapporti 287/2018 (ISBN 978-88-448-0901-0).

Urosevic M., Yebra-Rodríguez A., Sebastián-Pardo E., Cardell C., (2012) *Black soiling of an architectural limestone during two-year term exposure to urban air in the city of Granada (S Spain)*, Science of the Total Environment 414, 564–575.

Varnes D.J. (1984) *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. Commission on Landslides of the IAEG, UNESCO, Natural Hazards, 3, pp 61.

WGE (2009), Working Group on Effects, “Review of air pollution effects. Indicators and targets for air pollution effects”. Report to the 28th session of the Working Group on Effects, UN-ECE Convention on Long range Transboundary Air Pollution, Working Group on Effects, Geneva, Switzerland. ECE/EB.AIR/WG.1/2009/16 12 p.

