

Approfondimenti conoscitivi

Piano Adottato
novembre 2020

Leggere il Piano

Profilo e conoscenze

Approfondimenti conoscitivi

Strategie e visione
Strategie urbane
Strategie locali
Disciplina del Piano

Assetti e
strategie

Documento di VALSAT

Schede
Tavole

Tavola
dei vincoli

Regolamento edilizio

Documenti di Piano



f. Ambiente

Approfondimenti conoscitivi



In questo documento sono contenuti gli studi e le analisi editi per il Piano Urbanistico, che dettagliano le schede di sintesi presenti nel documento > **Profilo e conoscenze**

Indice

Profilo e conoscenze > scheda 39 Clima, scenari climatici	4
Clima, scenari climatici	4
Scenari climatici per l'area di Bologna	4
Introduzione	4
Cambiamento climatico - quadro generale	4
Dati e metodi. Data set locale	5
Dati e metodi. Modello di regionalizzazione statistica e modelli climatici globali	6
Proiezioni future della temperatura - campi medi ed estremi. Scenari di temperatura minima e massima stagionale	7
Proiezioni future della temperatura, campi medi ed estremi. Estremi di temperatura	10
Conclusioni: cambiamenti climatici futuri	11
Bibliografia	11
Profilo e conoscenze > scheda 40 Clima, isole di calore urbane	13
Clima, isole di calore urbane	13
Il fenomeno dell'isola di calore urbana	13
Benessere microclimatico	19
Profilo e conoscenze > scheda 41 Clima, valutazioni climatico-ambientali per i processi di rigenerazione urbana	21
Clima, valutazioni climatico-ambientali per i processi di rigenerazione urbana	21
Analisi climatica per la città di Bologna	21
Analisi del campo di vento	21
Ondate di Calore	22
Valutazione del microclima della città di Bologna	24
Il modello ENVIMET	24
Simulazione Envi-met per 5 aree della città di Bologna	24
Profilo e conoscenze > scheda 42 Aria e rumore, qualità dell'aria	44
Aria e rumore, qualità dell'aria	44
Azioni volte al miglioramento della qualità dell'aria	44
Profilo e conoscenze > scheda 43 Aria e rumore, inquinamento acustico	51
Aria e rumore, inquinamento acustico	51
Classificazione acustica comunale	51
Mappatura acustica e Piano d'azione dell'Agglomerato di Bologna	52
Rumore aeroportuale, autostradale, ferroviario, stradale	57
Rumore aeroportuale	57

Rumore autostradale	59
Rumore ferroviario	62
Rumore stradale	64
Mappa delle criticità acustiche	66
Profilo e conoscenze > scheda 44 Aria e rumore, campi elettromagnetici	68
Aria e rumore, campi elettromagnetici	68
Fonti elettromagnetiche nel contesto urbano	68
Reti di distribuzione dell'energia	68
Impianti radiotelevisivi	68
Impianti di telefonia mobile	69
Profilo e conoscenze > scheda 45 Aria e rumore, aziende con potenziale impatto	70
Aria e rumore, aziende con potenziale impatto	70
Studio sul rischio industriale finalizzato alla valutazione degli interventi di trasformazione urbana e di rigenerazione	70
Profilo e conoscenze > scheda 46 Aria e rumore, rischio incidenti rilevanti	80
Aria e rumore, rischio incidenti rilevanti	80
Stabilimenti a rischio incidenti rilevanti	80
La normativa	81
L'elaborato "Rischio di incidenti rilevanti" (ERIR)	82
La Pianificazione Territoriale e Urbanistica	86
Gli stabilimenti a rischio di incidente rilevante nel Comune di Bologna	89
Profilo e conoscenze > scheda 47 Acqua, risorsa idrica	104
Acqua, risorsa idrica	104
Criticità qualitative del sistema idrico superficiale	104
Approvvigionamento idrico - consumi	105
Riduzione vulnerabilità idraulica e di allagamento di edifici e infrastrutture	106
Fenomeno delle inondazioni generate dal reticolo secondario di pianura artificiale	108
Profilo e conoscenze > scheda 48 Servizi ecosistemici, ecorete urbana	110
Servizi ecosistemici, ecorete urbana	110
Elementi costitutivi dell'eco-rete urbana	110
Profilo e conoscenze > scheda 49 Servizi ecosistemici, prestazioni suoli	113
Servizi ecosistemici, prestazioni suoli	113
Grado di assolvimento dei servizi ecosistemici	113
Servizi ecosistemici di approvvigionamento	113
Servizi ecosistemici di regolazione dei cicli naturali	114
Servizi ecosistemici sociali, fruitivi e ricreativi	115
Profilo e conoscenze > scheda 50 Suolo, inquadramento idrogeologico della collina	117
Suolo, inquadramento idrogeologico della collina	117
Inquadramento geologico	117
Inventario del dissesto	118
Pericolosità da frana	119

Pericolosità da calanco	120
Propensione al dissesto	121
Rischio da frana	121
Profilo e conoscenze > scheda 52 Suolo, microzonazione sismica di II livello	123
Suolo, microzonazione sismica di II livello	123
Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento	126
Assetto geologico, geomorfologico e idrogeologico dell'area	137
Dati geotecnici e geofisici	149
Modello del sottosuolo	152
Interpretazioni e incertezze	163
Metodologie di elaborazione e risultati della ms	170
Elaborati cartografici	182
Bibliografia	189
Profilo e conoscenze > scheda 53 Analisi delle condizioni limite di emergenza	193
Metodologie di elaborazione e risultati della cle	193
Dati di base	197
Criteri di selezione degli elementi del sistema di gestione dell'emergenza	197
Indicazioni sintetiche per il comune	201
Elaborati cartografici	204



Clima, scenari climatici

Scenari climatici per l'area di Bologna

elaborato da ARPAE - Osservatorio Clima Emilia-Romagna

Introduzione

Il presente documento descrive i risultati della variabilità climatica futura sulla città di Bologna, prendendo in considerazione la temperatura minima e temperatura massima, campi medi ed estremi. La città di Bologna viene descritta attraverso un numero di nove punti di griglia selezionati dal data set Eraclito definito su tutta la regione Emilia-Romagna, risoluzione dei punti di 5x5km (Antolini et al., 2015). Le proiezioni future sono state costruite attraverso la tecnica di regionalizzazione statistica, modello CCAReg (Tomozeiu et al., 2017), applicata ai campi in quota, simulati da vari modelli globali, nell'ambito dello scenario emissivo intermedio RCP4.5. I risultati sono descritti a livello stagionale, per l'insieme dei modelli (Ensemble Mean), metodo utilizzato per ridurre l'incertezza modellistica nelle proiezioni del clima futuro, ma anche per ogni modello individuale. Le stagioni considerate sono: **inverno** (dicembre, gennaio, febbraio), **primavera** (marzo, aprile, maggio), **estate** (giugno, luglio, agosto) ed **autunno** (ottobre, novembre e dicembre). L'orizzonte temporale è il periodo 2021-2050, mentre i cambiamenti sono valutati rispetto al clima di riferimento 1961-1990. Il documento include anche un confronto con il clima più recente, 1971-2000.

Cambiamento climatico - quadro generale

La valutazione dei cambiamenti climatici futuri viene affidata ai modelli climatici. I modelli climatici globali (GCMs) costituiscono uno dei principali strumenti per lo studio di questi cambiamenti, anche se non sempre la loro risoluzione spaziale è sufficiente per rappresentare i fenomeni che avvengono a scala locale. Per incrementare la risoluzione spaziale, e tenere conto perciò degli effetti locali, negli ultimi anni sono state sviluppate tecniche di "regionalizzazione" sia di tipo dinamico (RCMs) che di tipo statistico (SD). Tutti questi strumenti permettono di formulare scenari di cambiamento climatico a diverse scale spaziali ma presentano un certo grado di incertezza. Vari studi hanno dimostrato che la riduzione dell'incertezza può essere affrontata ricorrendo alla definizione di uno scenario futuro più probabile mediante la tecnica di "ensemble", cioè mediante l'utilizzo di più modelli insieme. Questa tecnica è utilizzata anche per il presente lavoro. Per quanto riguarda gli scenari emissivi, nel quinto Rapporto di valutazione dell'International Panel for Climate Change (IPCC AR5, 2014) è descritto un set di 4 scenari, denominati Representative Concentration Pathways (RCP), identificati dalla loro forzante radiativa espressa in W/m^2 e rappresentativi di un ventaglio di politiche climatiche da adottare nel XXI secolo. Questi scenari includono: uno scenario di mitigazione (RCP2.6), due scenari di stabilizzazione (RCP4.5 e RCP6.0) e uno scenario con emissioni di gas serra molto alte (RCP8.5). Mentre gli scenari RCP abbracciano un ampio spettro di valori della forzante totale, tuttavia non coprono la gamma completa di emissioni della letteratura scientifica, in particolare per quanto riguarda gli aerosol.

Le concentrazioni prestabilite di CO_2 sono pari a 421 ppm (RCP2.6), 538 ppm (RCP4.5), 670 ppm (RCP6.0) e 936 ppm (RCP8.5) entro il 2100 (Figura 1). Includendo anche le concentrazioni definite di CH_4 e N_2O , le concentrazioni combinate di anidride carbonica equivalente (CO_2eq) sono pari a 475

ppm (RCP2.6), 630 ppm (RCP4.5), 800 ppm (RCP6.0), e 1313 ppm (RCP8.5). In questo lavoro, le simulazioni climatiche si riferiscono al periodo 2021-2050, clima di riferimento è 1961-1990, lo stesso periodo di riferimento utilizzato nel progetto BLUEAP (<http://www.blueap.eu/site/>), mentre lo scenario emissivo è RCP4.5, lo stesso scenario emissivo utilizzato per la strategia regionale di adattamento ai cambiamenti climatici della regione Emilia-Romagna (SRACC, 2018).

Nella strategia regionale gli scenari sono stati creati utilizzando il data set osservativo E-OBS (<https://www.ecad.eu/download/ensembles/download.php#datafiles>) con la risoluzione 0.25°x0.25°.

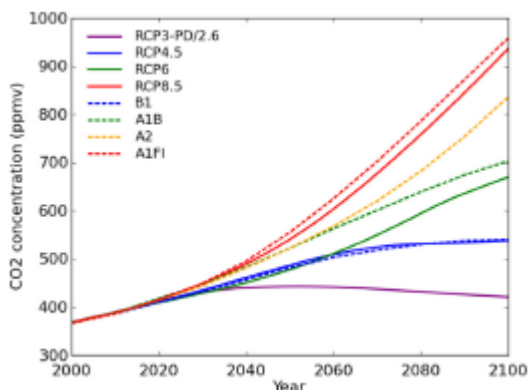


Figura 1. Andamento della concentrazione di anidride carbonica nei vari scenari emissivi (SRES) e radiativi (RCPs) (fonte: Australian Climate Change Climate Programme).

Inoltre, anche se il periodo di riferimento in questo lavoro è 1961-1990, per un confronto con un periodo climatico più recente, sono stati riportati anche i valori del periodo 1971-2000 insieme alle proiezioni future.

Dati e metodi. Data set locale

I dati climatici utilizzati provengono dal data set grigliato ERACLITO versione 4.2 (https://www.arpae.it/dettaglio_documento.asp?id=6147&idlivello=1528), data set che copre tutta la regione Emilia-Romagna e il periodo temporale 1961-2015. Il data set è stato ottenuto tramite una interpolazione spaziale su una griglia regolare di 5x5km a partire dai valori rilevati dalla rete delle stazioni meteorologiche storiche di temperatura (Antolini et al., 2015). Da questo data set regionale sono stati selezionati solo i 9 punti di griglia che coprono la città di Bologna, punti per i quali sono stati prodotti gli scenari di cambiamento climatico.

La figura 2 mostra la distribuzione dei punti di griglia del data set ERACLITO nella regione (a), nella provincia di Bologna (b), e i nove punti di griglia dell'area di Bologna selezionati per implementare il modello di regionalizzazione statistica e costruire gli scenari climatici (c). I codici dei punti di griglia sono : 1380, 1381, 1382, 1420, 1421, 1422,1460, 1461, 1462, risoluzione è di 5x5km (Figura 1c).

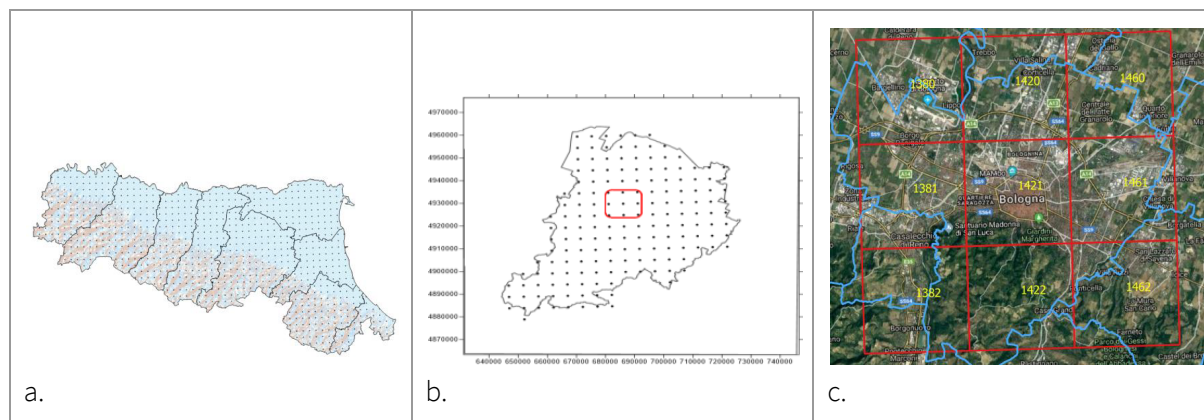


Figura 2. Mappa con la distribuzione dei punti di griglia ERACLITO versione 4.2 con dati di temperatura minima e massima:

a. Emilia-Romagna b. area metropolitana (ex provincia) di Bologna c. area comunale di Bologna (codice in giallo).

Partendo dai dati giornalieri di temperatura minima e massima sono stati calcolati sul periodo 1961-2015 i seguenti indicatori stagionali:

- temperatura minima;
- temperatura massima;
- durata delle ondate di calore (HWD) estive, definita come il numero massimo consecutivo di giorni in cui la temperatura massima supera il 90mo percentile, giornaliero nel periodo climatico 1961-1990;
- le notti tropicali estive, definite come il numero di giorni con temperatura minima superiore a 20°C.

Gli indicatori calcolati su base stagionale, descrivono sia l'intensità che la frequenza degli eventi estremi di temperatura.

Dati e metodi. Modello di regionalizzazione statistica e modelli climatici globali

Le proiezioni climatiche costruite nell'ambito di questo lavoro e presentate di seguito, sono state ottenute mediante la tecnica di regionalizzazione statistica, che consente di definire le proiezioni climatiche stagionale a scala d'interesse (Tomozeiu et al., 2017).

Il primo passaggio del processo, consiste nell'impostazione (costruzione e validazione) del modello di regionalizzazione statistica (CCAReg), utilizzando i campi in quota (geopotenziale a 500 hPa o Z500, temperatura a 850 hPa o T850, pressione a livello del mare o MSLP) provenienti dai due dataset di ri-analisi ERA40+ERA Interim (dati di larga scala; <https://www.ecmwf.int/>), con la risoluzione di 2.5°x 2.5°, e dati a scala locale cioè gli indicatori di temperatura nei nove punti di griglia dell'area comunale di Bologna (Figura 2c). Per ogni indicatore climatico calcolato in ogni punto di griglia e stagione è stato costruito il modello statistico CCAReg, utilizzando i dati osservati del periodo 1961-2015. La qualità del modello è stata valutata attraverso coefficienti (coefficiente di correlazione, deviazione dal valore medio - BIAS, errore quadratico medio - RMSE) calcolati tra i dati osservati e quelli simulati.

Nel secondo passaggio, al modello di regionalizzazione statistica CCAReg, costruito in precedenza con i dati climatici osservati, sono stati applicati i campi in quota simulati dai modelli climatici globali del progetto CMIP5 (<https://esgf-node.llnl.gov/projects/cmip5/>): CMCC-CM, MPI-ESM-MR, CNRM-CM5, Can-ESM2, INM-CM4, NOR-ESM1, per il periodo di controllo 1961-1990 e periodo futuro 2021-2050, nell'ambito dello scenario emissivo RCP4.5. La tabella 1 presenta la risoluzione spaziale di ogni modello climatico globale (GCMs) utilizzato per alimentare il modello di regionalizzazione statistica. Vista la risoluzione diversa dei modelli globali, tutti i campi di larga scala (T850, MSLP, Z500) sono portati alla stessa risoluzione del dataset ERA40, cioè 2.5°x 2.5°.

Tabella 1. Modelli Climatici Globali (GCMs) selezionati per alimentare il modello di regionalizzazione statistica CCAReg.

Modello Climatico Globale (GCM)	Centro Modellistico	Risoluzione spaziale
CMCC-CM	Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici	0.75°x0.75°
MPI-ESM-MR	Max Planck Institute for Meteorology	1.87°x1.87°
CNRM-CM5	Centre National de Recherches Meteorologiques	1.40°x1.40°
CanESM2	Canadian Center for Climate Modelling and Analysis	2.79x2.81°
INM-CM4	Russian Institute for Numerical Climate Modelling	2°x1.5°

Proiezioni future della temperatura - campi medi ed estremi. Scenari di temperatura minima e massima stagionale

Gli scenari di cambiamento climatico durante il periodo 2021-2050, costruiti attraverso il modello di regionalizzazione statistica CCAReg applicato ai campi in quota dei 6GCMs (vedi tabella 1) mostrano per tutti i 9 punti dell'area di Bologna, un aumento della temperatura minima e massima in tutte le stagioni. L'Ensemble Mean, cioè la media del cambiamento di tutti i modelli, mostra per il periodo 2021-2050, rispetto al periodo di riferimento 1961-1990, una media del cambiamento su tutti i 9 punti di griglia compresa tra 1,2°C (nella minima invernale) fino a un massimo di circa 3°C (nella massima estiva).

La tabella 2 mostra il valore del cambiamento climatico futuro (Ensemble Mean) mediato su tutti i 9 punti di griglia dell'area di studio (figura 2c). Come si può notare le proiezioni indicano un aumento della temperatura in tutte le stagioni, con valori più intensi durante l'estate sia per le minime (fino a 2°C) che per le massime (fino a 3°C).

Inoltre, la temperatura minima autunnale e la temperatura massima primaverile mostrano dei segnali significativi di aumento per il periodo 2021-2050 rispetto al periodo 1961-1990.

Tabella 2. Variazioni medie attese delle temperature minime e massime stagionale sull'area di Bologna: Ensemble Mean della regionalizzazione statistica applicato a 6GCMs, periodo 2021-2050 rispetto al 1961-1990, scenario emissiva RCP4.5.

2021-2051 - 1961-1990	Inverno (cambiamento °C)	Primavera (cambiamento °C)	Estate (cambiamento °C)	Autunno (cambiamento °C)
T _{min}	1.2	1.3	1.8	1.7
T _{max}	1.5	2.1	2.9	1.3

Come viene tradotto questo aumento della temperatura minima e massima nel valore stagionale della temperatura?

La figura 3 presenta il valore climatico della temperatura minima e massima stagionale mediata su tutti i 9 punti di griglia dell'area di Bologna, su vari periodi: 1961-1990, 1971-2000, 2021-2050 (proiezioni del CCAReg applicato ai 6GCMs per lo scenario emissivo RCP4.5 -Ensemble Mean).

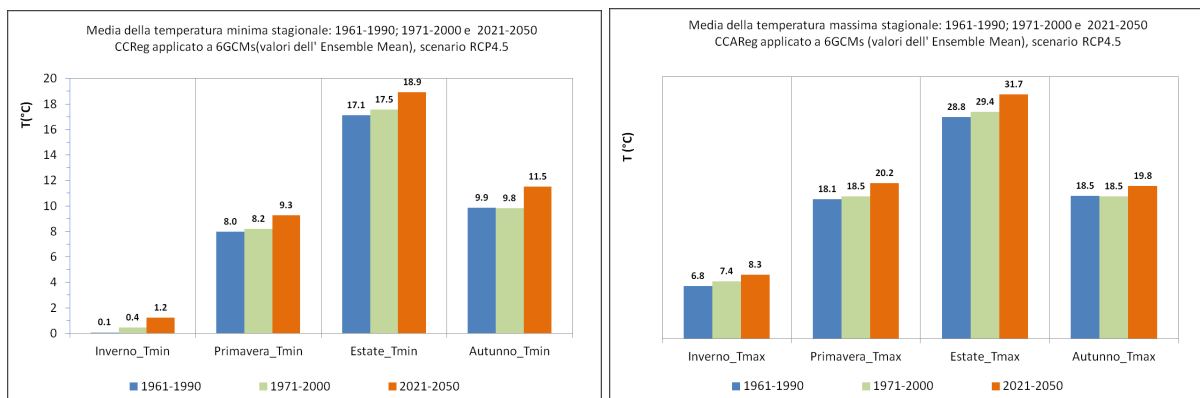


Figura 3. Valore climatico della temperatura minima e massima stagionale dei periodi 1961-1990, 1971-2000, e proiezioni sul periodo 2021-2050 (Ensemble Mean) scenario RCP4.5.

La distribuzione spaziale del valore climatico osservato 1961-1990 e proiezioni future 2021-2050 (campi pieni) per l'inverno è presentata in figura 4 per la minima (a e b) e 5 per la massima (a e b).

- Temperatura minima invernale osservata (°C) nel periodo 1961-1990 e proiezioni della temperatura minima invernale (°C) nel periodo 2021-2050 (scenario RCP4.5)

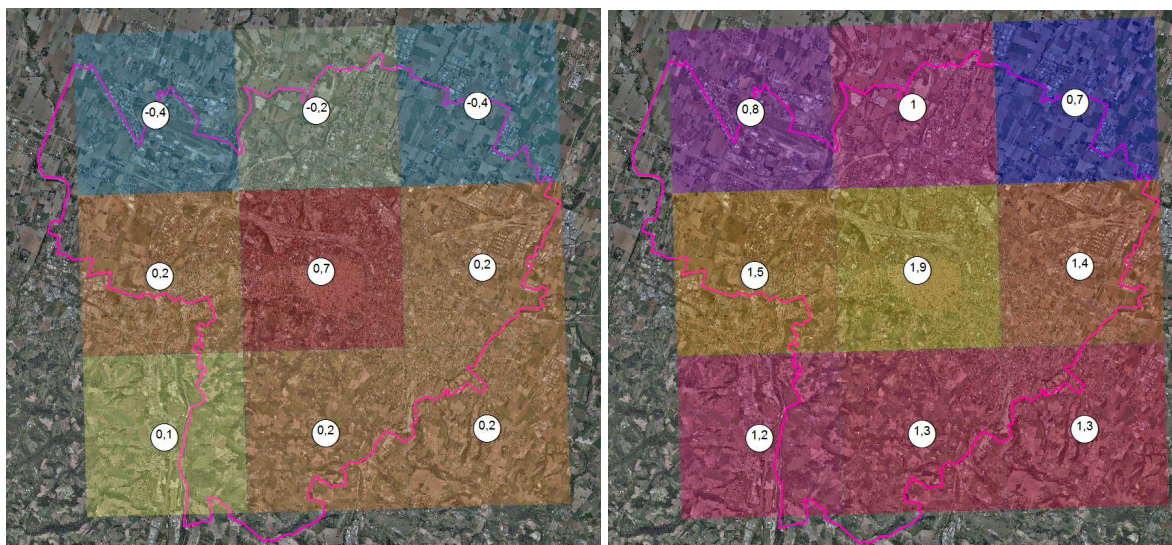


Figura 4. Distribuzione spaziale della temperatura minima invernale: 1961-1990 (a) e proiezioni sul periodo 2021-2050 (b), Ensemble Mean, scenario RCP4.5.

- Temperatura massima invernale osservata (°C) nel periodo 1961-1990 e proiezioni della temperatura massima invernale (°C): 2021-2050

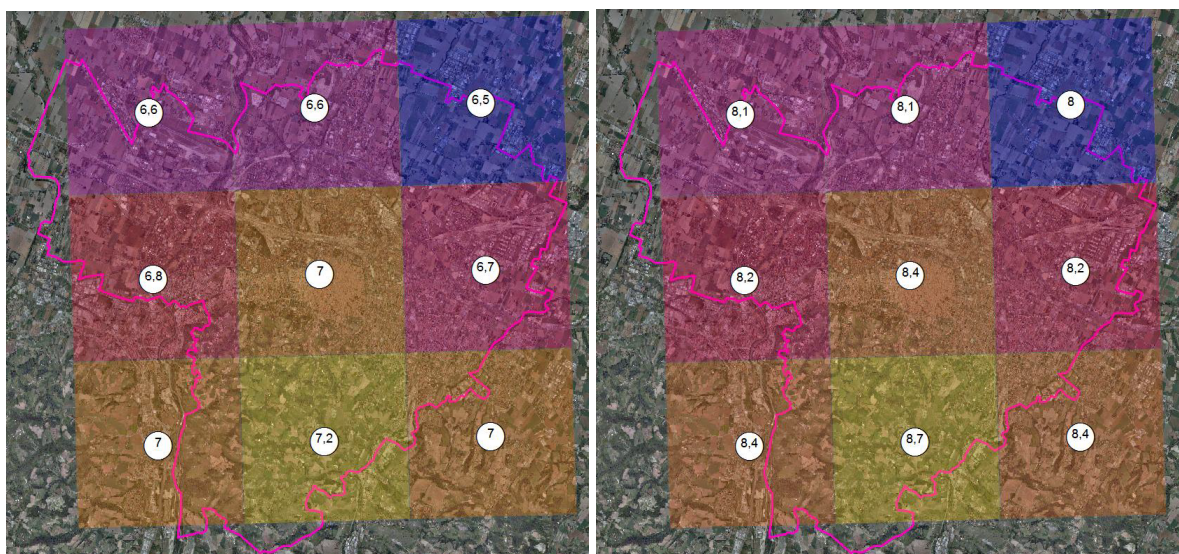


Figura 5. Distribuzione spaziale della temperatura massima invernale: 1961-1990 (a) e proiezioni sul periodo 2021-2050 (b), Ensemble Mean, scenario RCP4.5.

La distribuzione dei valori di temperatura minima e massima estiva è presentata in figura 6 per la minima e 7 per la massima, periodo osservato (a) e futuro (b).

- Temperatura minima estiva osservata (°C) nel periodo 1961-1990 e proiezioni della temperatura minima estiva (°C) nel periodo 2021-2050 (Ensemble Mean)

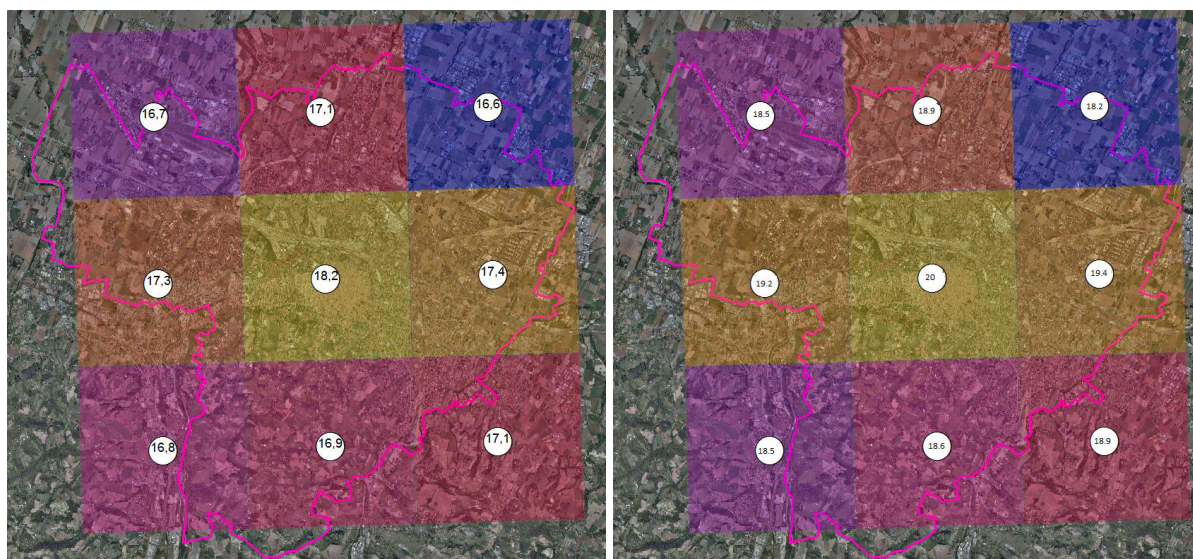


Figura 6. Distribuzione spaziale della temperatura minima estiva : 1961-1990 (a) e proiezioni sul periodo 2021-2050 (b), Ensemble Mean, scenario RCP4.5.

- Temperatura massima estiva osservata (°C) nel periodo 1961-1990 e proiezioni della temperatura massima estiva (°C): 2021-2050 (Ensemble Mean)

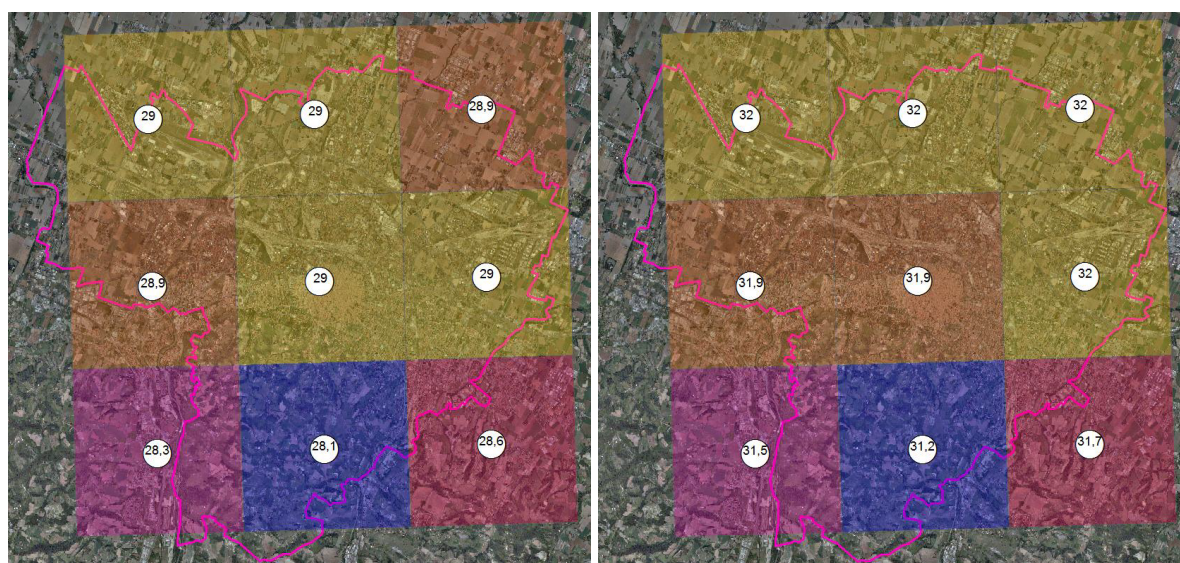


Figura 7. Distribuzione spaziale della temperatura massima estiva : 1961-1990 (a) e proiezioni sul periodo 2021-2050 (b), Ensemble Mean ,scenario RCP4.5.

Proiezioni future della temperatura, campi medi ed estremi. Estremi di temperatura

In questo paragrafo sono presentati le proiezioni future delle notti tropicali e della durata delle ondate di calore. L'analisi delle notti tropicali sull'area di Bologna ha evidenziato una media di circa **14 notti tropicali** sul periodo climatico **1961-1990** (media su 9 punti dell'area Bologna). La mappa presentata in figura 8a mostra come l'indicatore varia da un numero di circa **10** (area di Cadriano) fino a circa **25** (zona Bologna centro). Questo indicatore si è già modificato nel periodo climatico più recente, arrivando a circa **20 notti tropicali** in media, per il periodo **1971-2000**, stagione estiva.

Le proiezioni future hanno evidenziato un aumento significativo dell'indicatore sul periodo 2021-2050, segnale risultato dal CCAReg applicato ai vari GCMs. Il valore dell'indicatore, presentato in figura 8, varia da un numero medio sul periodo 2021-2050 di circa 40 notti tropicali (downscalato con il modello Can_ESM2) fino a circa 31 notti tropicali downscalato dal modello INMCM4. Il valore dell'Ensemble Mean è di circa **35 notti tropicali sul periodo 2021-2050, scenario RCP4.5**.

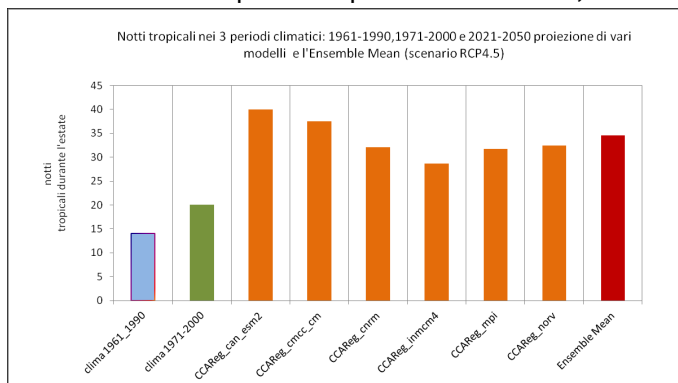


Figura 8. Notti tropicali estive 1961-1990 (blu), 1971-2000 (verde) e proiezioni 2021-2050 da vari modelli (arancione), scenario emissivo RCP4.5

La **distribuzione spaziale** dell'indicatore sui 9 punti dell'area di Bologna, sia nel periodo climatico di riferimento 1961-1990 che quello futuro (**Ensemble Mean**), è presentata nella figura 8. Si ha più di un raddoppio nell'indicatore sul periodo 2021-2050, rispetto al clima di riferimento 1961-1990.

- Notti tropicali estive osservate (numero) nel periodo 1961-1990 e proiezioni del numero di notti tropicali estive nel periodo 2021-2050 (Ensemble Mean)

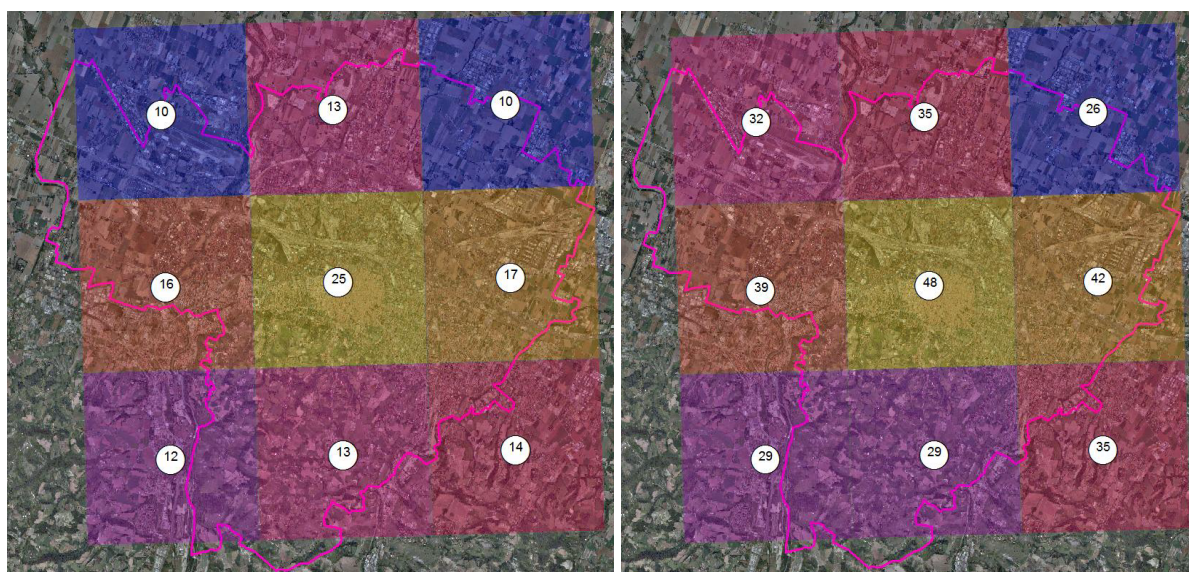


Figura 9. Notti tropicali estive: 1961-1990 (a) e proiezioni 2021-2050 (b), Ensemble Mean, scenario emissivo RCP4.5

Un aumento significativo si evidenzia anche per la durata delle onde di calore, cioè il **numero massimo consecutivo** di giorni con la temperatura massima maggiore del **90° percentile giornaliero**, calcolata sul periodo 1961-1990. Il modello CCAReg applicato ai modelli globali ha evidenziato in tutti casi un incremento dell'indicatore sul periodo 2021-2050. La figura 10 presenta per l'area di Bologna il valore dell'indicatore nel clima presente, circa 3 giorni consecutivi, e nel clima futuro così come risulta per ogni modello. Come si può notare, gli scenari concordano sia nel segno che nell'intensità, cioè un cambiamento compreso tra circa 6 giorni (CCAReg applicato al Inmcm4) e 8 giorni (CCAReg applicato al modello Cmcc_cm e Can_esm2), mentre l'Ensemble Mean evidenzia circa 7 giorni consecutivi, rispetto ai circa 3 giorni registrati sul periodo 1961-1990. Anche in questo caso, come nel caso delle onde notti tropicali le proiezioni mostrano più di un raddoppio nei valori dell'indicatore (due volte e mezza circa).

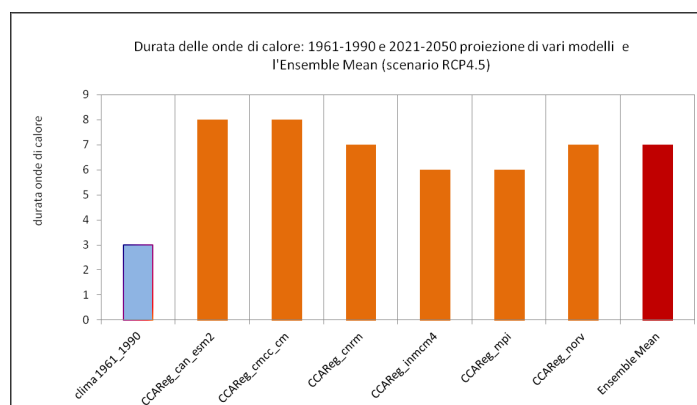


Figura 10. Durata delle onde di calore estive per l'area di Bologna: 1961-1990 e 2021-2050, output di CCAReg applicato a vari GCMs, scenario emissivo RCP4.5

Conclusioni: cambiamenti climatici futuri

I risultati del presente studio climatico sull'area di Bologna evidenziano i seguenti segnali climatici per il periodo 2021-2050 rispetto al periodo 1971-2000 (scenario RCP4.5):

- Temperatura
 - un probabile incremento medio delle temperature minime e massime compreso tra circa 1.2°C e 3°C per il periodo 2021-2050 rispetto al periodo di riferimento climatico 1961-1990; le anomalie più forti potranno verificarsi durante il periodo estivo, sia nelle minime che nelle massime;
 - un probabile aumento della durata delle onde di calore e delle notti tropicali estive(circa due volte rispetto al periodo 1961-1990).

Bibliografia

- Analisi climatica giornaliera 1961-2015 - Dataset osservativo, su griglia, di precipitazioni e temperature giornaliere per l'Emilia-Romagna: https://www.arpae.it/dettaglio_documento.asp?id=6147&idlivello=1528;
- Antolini G., Auteri L., Pavan V., Tomei F., Tomozeiu R., Marletto V., 2015: *A daily high-resolution gridded climatic data set for Emilia-Romagna, Italy, during 1961–2010*, International Journal of Climatology 08/2015; DOI:10.1002/joc.4473;
- Atlante climatico 1961-2015 (edizione 2017) - Cartografia dei cambiamenti climatici e altri dati rilevanti, con dettaglio comunale;
- Rapporto IdroMeteoClima dell'Emilia-Romagna - Anno 2017;
- Rapporto IdroMeteoClima dell'Emilia-Romagna - Anno 2018 (https://www.arpae.it/dettaglio_notizia.asp?idLivello=32&id=10412);

- SRACC-Strategia per il cambiamento climatico della regione Emilia-Romagna, 2018 https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/cambiamenti-climatici/materiali-vari/documenti_vecchia_versione/strategia-regionale-per-i-cambiamenti-climatici;
- Tomozeiu R., Pasqui M., Quaresima S. (2017). *Future changes of air temperature over Italian areas: a statistical downscaling technique applied to 2021-2050 and 2071-2100 periods*. Meteorology and Atmospheric Physics doi.org/10.1007/s00703-017-0536-7.



Clima, isole di calore urbane

Il fenomeno dell'isola di calore urbana

elaborato con la collaborazione dell'Università di Bologna, Dipartimento di ingegneria Civile, Ambientale, Chimica e dei Materiali (DICAM)

Al fine di ottenere una mappa sinottica dello status ante sull'intero territorio comunale, sono state acquisite ed opportunamente elaborate immagini satellitari multispettrali riferite al campo del visibile e dell'infrarosso, vicino e termico. Le immagini termiche ottenute dal sensore ASTER hanno consentito di realizzare una mappa della temperatura superficiale, sia notturna che diurna, con risoluzione spaziale di 90 metri. Tramite immagini del sensore Sentinel-2, appartenente al programma europeo Copernicus, è stata invece realizzata una stima delle superfici coperte da vegetazione, attraverso il calcolo e l'analisi di indici spettrali, con risoluzione spaziale di 10 metri. Le immagini utilizzate sono state selezionate in corrispondenza di episodi significativi di ondate di calore verificatesi nell'estate 2017, con temperature massime superiori a 30°C per diversi giorni consecutivi. Sulle mappe di temperatura e copertura vegetale sono state calcolate opportune statistiche a livello di isolato, mediante overlay in ambiente GIS con i poligoni derivanti dalla Carta Tecnica Comunale.

Premessa metodologica

Il fenomeno dell'isola di calore urbana consiste in un aumento della temperatura di qualche grado all'interno delle aree urbane, rispetto alle zone più periferiche e rurali. Le cause del fenomeno, ancora oggetto di studio, sono da ricercarsi nella riduzione delle superfici vegetate a favore di materiali artificiali con diverse proprietà di emissività e inerzia termica. Inoltre la complessa geometria degli edifici ostacola la ventilazione ed il trasporto di calore, favorendo anche l'accumulo di aerosol e gas serra. Come mostrato in Figura 1, il fenomeno riguarda sia le temperature delle superfici che dell'aria. In generale, l'aumento di temperatura dell'aria è più marcato durante la notte, mentre quello delle superfici è più evidente durante il giorno. In ogni caso i due aspetti sono strettamente legati. Attraverso i dati del telerilevamento satellitare è possibile monitorare la temperatura delle superfici ed analizzare alcune caratteristiche di land use correlate al fenomeno dell'isola di calore urbana.

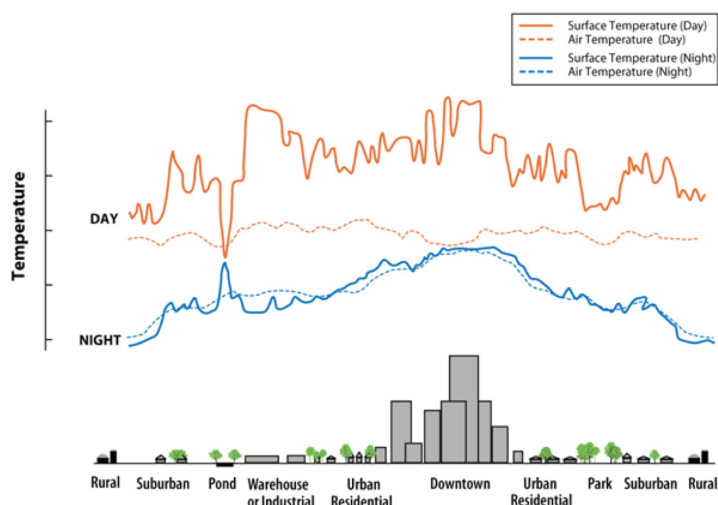


Figura 1. Andamento tipico delle temperature dell'aria e delle superfici, di giorno e di notte, in presenza di isola di calore urbana.

Immagini satellitari

Le elaborazioni sono state condotte su immagini ASTER, per quanto concerne le analisi relative alla temperatura superficiale, e su immagini Sentinel-2, per quanto riguarda invece lo studio della copertura vegetale. La piattaforma ASTER è stata scelta in quanto, ad oggi, è quella che offre la migliore combinazione di risoluzioni spaziale e spettrale disponibili nel campo dell'infrarosso termico. Il sensore TIR (Thermal InfraRed) fornisce infatti cinque bande nelle lunghezze d'onda comprese tra 8 e 12 μm , con un'impronta del pixel a terra pari a circa 90 m. Il satellite è posizionato su un'orbita eliosincrona che consente un tempo di rivisitazione pari a 16 giorni, anche se l'effettiva disponibilità delle immagini dipende dalla programmazione delle acquisizioni e dalle condizioni meteorologiche. Sono disponibili sia immagini diurne che notturne.

Per quanto riguarda invece la stima delle superfici vegetate all'interno dell'area del Comune di Bologna, si è scelto di utilizzare le immagini multispettrali della piattaforma Sentinel-2, sviluppata e gestita nell'ambito del programma europeo Copernicus. Si tratta di una piattaforma in grado di acquisire immagini ogni cinque giorni su ogni porzione del territorio europeo (sempre a meno di eccessiva copertura nuvolosa). Le immagini si compongono di 13 bande che coprono le lunghezze d'onda dal visibile (0.4 μm) all'infrarosso ad onde corte (2 μm), con impronta del pixel a terra di dimensione variabile tra 10 e 60 metri.

Tabella 1. Elenco delle immagini satellitari utilizzate per le elaborazioni.

Immagine	Sensore	Data acquisizione	Ora	Risoluzione
AST_08_00307072017211134	TIR	7/07/2017	23:11	90 m
AST_08_00306192017101619	TIR	19/06/2017	12:16	90
AST_08_00306192017101628	TIR	19/06/2017	12:16	90
S2A_MSIL2A_20170623T101021	MSI	23/06/2017	12:10	10 m

Tra le immagini che sono state collezionate per gli ultimi anni, la presente relazione fa riferimento a quelle acquisite nel periodo compreso tra giugno e luglio 2017; quelle termiche, in particolare, sono state selezionate in corrispondenza di episodi significativi di ondate di calore, cioè periodi di superamento dei 30°C di temperatura massima per diversi giorni consecutivi. Nella Tabella 1 sono

elencati in dettaglio i prodotti satellitari utilizzati per le elaborazioni, con indicazione della data e ora di acquisizione e della risoluzione spaziale.

Superficie vegetata

Per calcolare la porzione di superficie vegetata all'interno di ciascun isolato è stata utilizzata un'immagine Sentinel-2, acquisita a pochi giorni di distanza dalle immagini termiche. Sono state utilizzate soltanto le bande del sensore MSI con risoluzione a terra pari a 10 m, in particolare la banda del rosso nel visibile (banda 4) e la banda dell'infrarosso vicino (banda 8).

È stato quindi calcolato l'indice vegetazionale NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), definito come il rapporto tra la differenza e la somma tra le due bande. Tale indice assume valori prossimi allo zero in corrispondenza di superfici spoglie, mentre assume valori via via crescenti fino all'unità in funzione della densità di copertura vegetale.

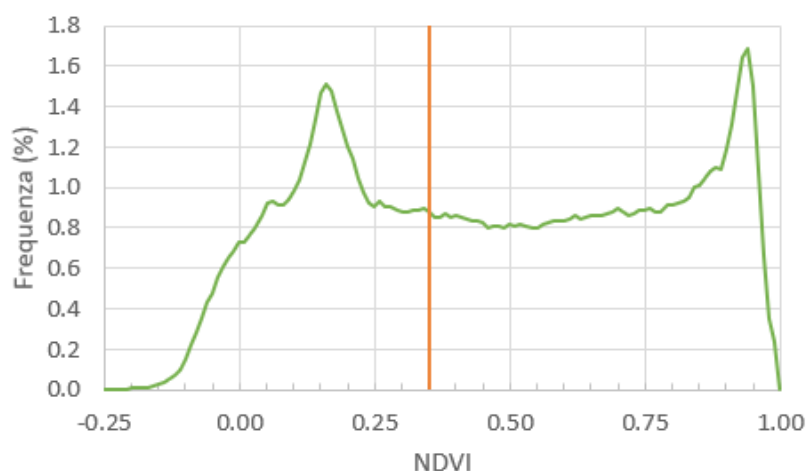


Figura 2. Istogramma di frequenza dei valori di NDVI derivati dall'immagine Sentinel-2 per la definizione della soglia

Sulla base di considerazioni statistiche sulla distribuzione dei valori di NDVI sull'area del territorio comunale (Figura 2), è stato individuato un valore di soglia pari a 0.35, al di sopra del quale il pixel dell'immagine Sentinel-2 è stato considerato 'vegetato'. Infine, attraverso operazioni di overlay con le geometrie derivanti dalla Carta Tecnica Comunale numerica, è stata stimata l'area vegetata all'interno di ciascun isolato (Figura 3). È importante notare che l'area coperta da un singolo pixel dell'immagine satellitare è pari a 100 m², pertanto superfici vegetate di estensione inferiore possono risultare completamente omesse oppure rappresentate con estensione sovrastimata.

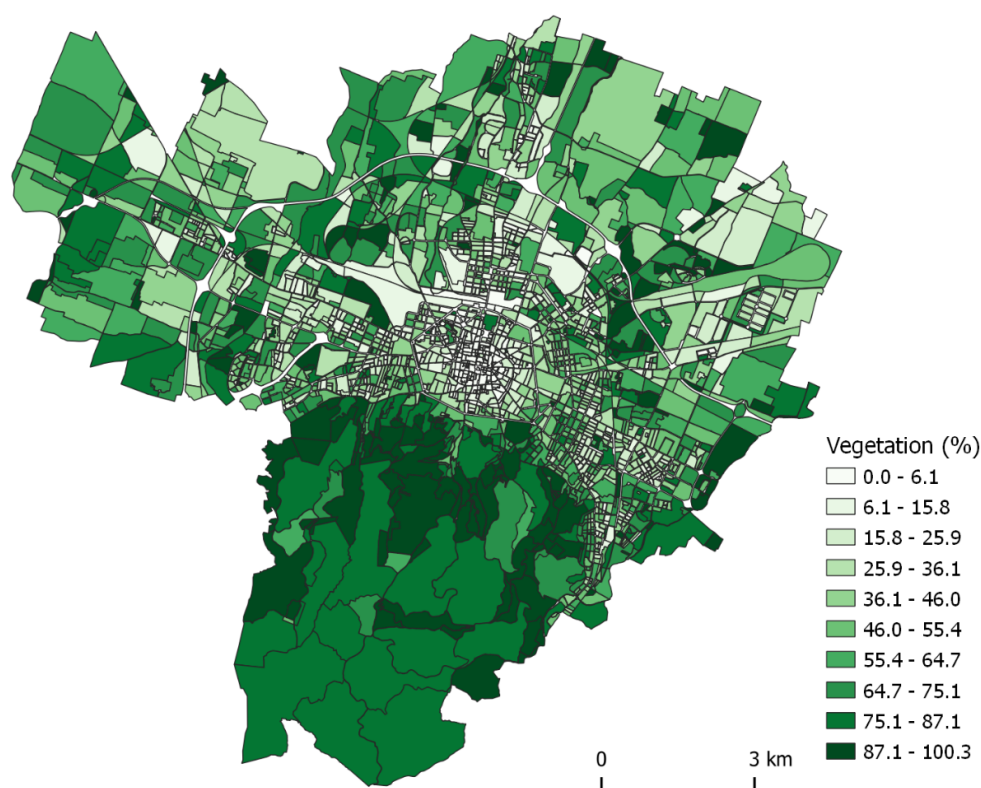


Figura 3. Mappa della percentuale di copertura vegetale all'interno degli isolati.

Temperature superficiali

Il processing delle immagini ASTER consente di calcolare la temperatura delle superfici osservate con un'accuratezza assoluta di circa 4 K ed una accuratezza relativa inferiore ad 1 K. Questo risultato si ottiene a seguito di una calibrazione radiometrica che consente di mitigare gli errori indotti dall'atmosfera e dai diversi valori di emissività dei materiali che compongono la superficie. La multispettralità del sensore ASTER nella regione del termico consente l'applicazione di un algoritmo di separazione della temperatura e dell'emissività denominato TES. Le immagini così calibrate possono essere corrette geometricamente mediante ortorettifica, utilizzando un modello a polinomi razionali (con coefficienti forniti dal gestore) ed un modello digitale dell'elevazione con dettaglio appropriato per immagini a 90 metri di risoluzione. In questo caso, è stato utilizzato il modello SRTM. Nel caso dell'acquisizione diurna, poi, è stato necessario mosaicare due immagini appartenenti alla stessa strisciata (e quindi acquisite a pochi secondi di distanza) per coprire l'intero territorio comunale.

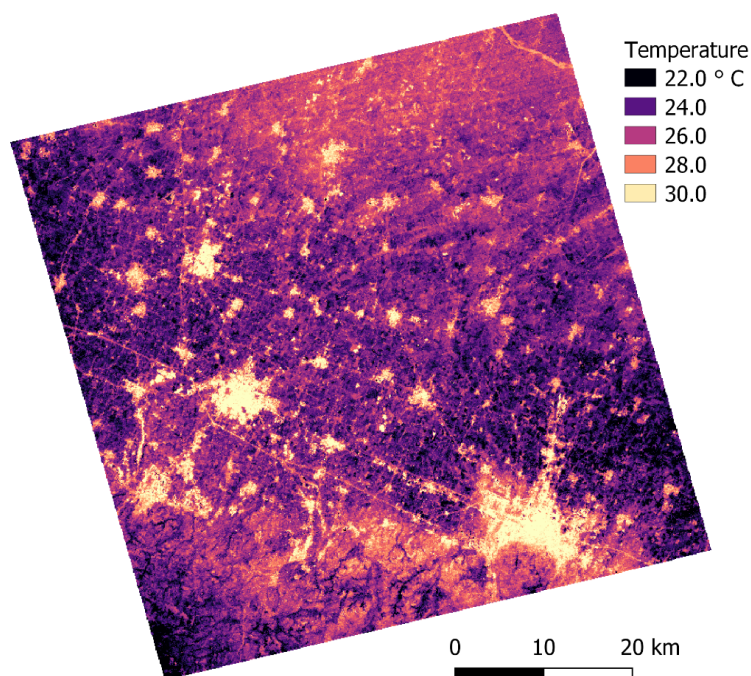


Figura 4. Mappa di temperatura superficiale ricavata dall'immagine ASTER notturna del 7 luglio 2017

Sono quindi state generate due mappe di temperatura superficiale, una diurna ed una notturna (quest'ultima riportata in Figura 4). Mediante operazioni di overlay in ambiente GIS, da queste mappe sono state estratte alcune statistiche per ciascun isolato (layer vettoriale derivato dalla Carta Tecnica Comunale numerica). In particolare sono state valutate la temperatura media ponderata e la deviazione standard, sia diurna che notturna. Nel calcolo della media sono stati considerati i valori appartenenti a tutti i pixel ricadenti interamente o solo in parte all'interno del poligono, utilizzando però come peso statistico la frazione di pixel effettivamente intersecante il poligono stesso. Tali valori di media e deviazione standard, nonché il conteggio dei pixel interessati dal calcolo, sono stati aggiunti come nuovi campi numerici alla tabella attributi del file vettoriale degli isolati estratto dalla carta tecnica comunale. È anche qui opportuno sottolineare che l'area coperta da un singolo pixel dell'immagine satellitare termica è pari a circa 8100 km², pertanto un numero rilevante di isolati ha dimensioni inferiori ad un singolo pixel. In tutti questi casi la misura della temperatura non è indipendente da quella degli isolati adiacenti.

Correlazioni

È stata condotta una valutazione della correlazione tra la percentuale di superficie vegetata e la temperatura superficiale media, sempre osservate a livello di isolati. L'analisi è stata condotta sia considerando la situazione notturna che quella diurna. In entrambi i casi sono stati esclusi i poligoni più piccoli (rispetto alle dimensioni del pixel dell'immagine satellitare di partenza), in considerazione della loro possibile minore accuratezza. Come si può osservare dalle regressioni riportate in Figura 5, la condizione diurna è quella che presenta la correlazione più marcata, con un coefficiente di determinazione (R^2) prossimo a 0.5. L'effetto è legato all'assorbimento di energia da parte degli apparati fogliari per l'attività fotosintetica. Il fenomeno è infatti meno evidente durante la notte (R^2 inferiore a 0.3). In entrambi i casi la dispersione dei valori evidenzia che la vegetazione, pur essendo un elemento di grande importanza, non è l'unico fattore che influisce in maniera significativa sull'accumulo di calore negli ambienti urbani.

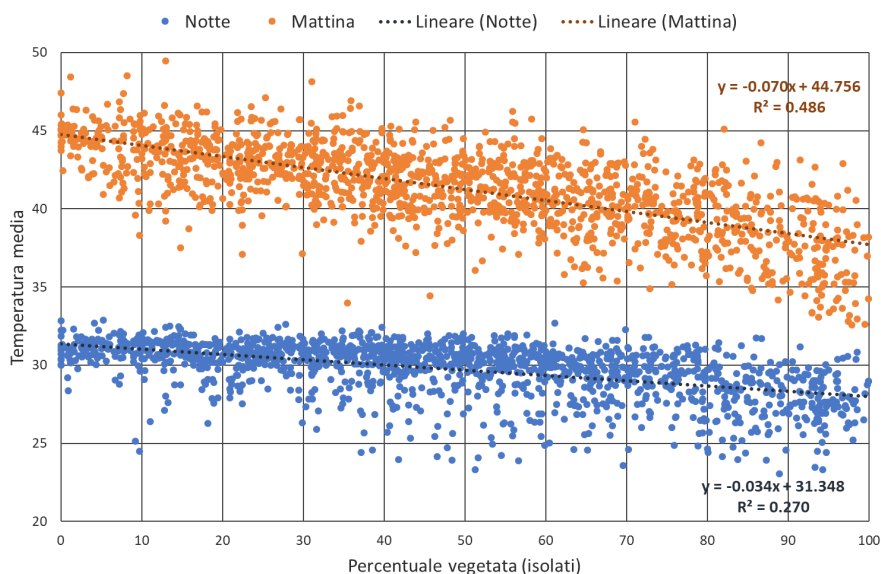


Figura 5. Regressione lineare tra i valori percentuali di copertura vegetale e le temperature medie degli isolati, sia nel caso diurno (rosso) che nel caso notturno (bleu)

Prodotti finali

L'elaborato di output consiste in una tabella di attributi aggiuntivi per i poligoni che definiscono gli isolati nella carta tecnica comunale. La tabella, in formato CSV (Comma Separated Value), può essere unita al database originale mediante il campo CODISO.

Nella Tabella 2 sono riportati i campi aggiuntivi e la relativa descrizione.

Tabella 2. Elenco dei nuovi campi calcolati per la tabella attributi degli isolati desunti dalla carta tecnica comunale.

Campo	Descrizione
S_PCOUNT	Numero di pixel dell'immagine Sentinel-2 interamente o parzialmente ricadenti all'interno del poligono che definisce l'isolato. Data acquisizione dell'immagine 23/06/17 12:10.
S_VEG_AREA	Superficie vegetata in metri quadrati ricadente all'interno dell'isolato.
S_VEG_PERC	Percentuale della superficie dell'isolato coperta da vegetazione.
A_PCOUNT_NIGHT	Numero di pixel dell'immagine ASTER_08 notturna interamente o parzialmente ricadenti all'interno del poligono che definisce l'isolato. Data acquisizione dell'immagine 7/07/17 23:11.
A_TMEAN_NIGHT	Temperatura superficiale notturna dell'isolato, calcolata come media pesata in base all'area dei valori dei pixel.
A_TSTD_NIGHT	Deviazione standard dei valori di temperatura superficiale notturna dei pixel ricadenti all'interno dell'isolato.
A_PCOUNT_DAY	Numero di pixel dell'immagine ASTER_08 diurna interamente o parzialmente ricadenti all'interno del poligono che definisce l'isolato. Data acquisizione dell'immagine 19/06/17 12:16.
A_TMEAN_DAY	Temperatura superficiale diurna dell'isolato, calcolata come media pesata in base all'area dei valori dei pixel.
A_TSTD_DAY	Deviazione standard dei valori di temperatura diurna notturna dei pixel ricadenti all'interno dell'isolato.

Benessere microclimatico

elaborato con la collaborazione dell'Università di Bologna, Dipartimento di ingegneria Civile, Ambientale, Chimica e dei Materiali (DICAM)

Tutto il territorio è stato classificato secondo 4 tipologie con la stessa Morfologia Climatica (MC) eseguendo una simulazione microclimatica con variabili micrometeorologiche ottenute durante un'onda di calore (4 agosto 2017), ai fini dell'individuazione del caso peggiore su 5 tessuti rappresentativi del contesto della città di Bologna

Per MC omogenea si intende una porzione del territorio ricadente in un intervallo appartenente alla stessa categoria derivante dall'interpolazione di quattro macro parametri: temperatura, verde, morfologia e proprietà superficiali.

Ad ogni tipologia è associato un indice di benessere microclimatico normalizzato. L'indice di benessere climatico, comfort, viene definito come una condizione di equilibrio fisiologico della persona che si trova in un ambiente outdoor sottoposta alla variabilità dei parametri atmosferici.

Obiettivo generale

Contribuire alla mitigazione delle isole di calore urbano e al raggiungimento degli obiettivi del piano di adattamento ai cambiamenti climatici per la costruzione di una città resiliente.

Le diverse tipologie sono le seguenti:

- Tip A bassa fragilità IBMN= prossimo all'equilibrio
- Tip B media bassa fragilità IBMN = basso scostamento dall'equilibrio
- Tip C media alta fragilità IBMN= sostanziale scostamento dall'equilibrio
- Tip D alta fragilità IBMN=alto scostamento dall'equilibrio

dove con IBMN si intende l'indice di benessere normalizzato.

Ambito di applicazione 1

Accordi operativi ed accordi convenzionati (non richiesti per l'intervento diretto).

Le azioni devono essere volte alla realizzazione di una simulazione dell'Indice di Benessere con relativa cartografia, dello scenario di progetto (ex-ante, ex-post), utilizzando i dati di simulazione temperature degli scenari futuri 2030 di ARPAE.

L'intervento specifico in base alla classe di appartenenza risultante dalla simulazione dovrà garantire una soglia di miglioramento ex-post rispetto all'ex-ante, in termini percentuali come segue:

- Tipo A e centro storico= mantenimenti BM 0%
- Tipo B = miglioramento soft BM di 10%
- Tipo C = miglioramento medio BM di 15%
- Tipo D = miglioramento hard BM di 20%

Le azioni da realizzare ai fini del raggiungimento dei valori BM verranno definiti in fase di progettazione seguendo i requisiti richiesti per gli interventi diretti come di seguito riportati.

Inoltre si terrà conto delle linee guida regionali, nazionali e internazionali, e in linea con gli studi più recenti, le nuove tecnologie, le evidenze scientifiche in materia di cambiamenti climatici e l'utilizzo delle Natural Based Solution (linee guida BLUEAP-SUDS, pianificare con la natura REBUS).

Ambito di applicazione 2

Accordi operativi, accordi convenzionati ed Interventi diretti.

Al fine di ridurre il flusso di calore immagazzinato nel costruito si raccomanda di contribuire al raggiungimento di condizioni di comfort termico, durante il periodo estivo, negli spazi aperti adiacenti al costruito ad esempio riducendo la radiazione incidente e aumentando il coefficiente di riflessione dei materiali. Si richiede l'applicazione criterio 7,02.3 Protocollo Itaca 2016 albedo (comfort termico delle aree esterne).

La scala di prestazione da raggiungere per classe microclimatica è la seguente:

- negativo: mai
- sufficiente: Tipo A
- buono: Tipo B, Tipo C
- ottimo: Tipo D

Se l'obiettivo è invece quello di ridurre la radiazione incidente netta su strade, piazze e parcheggi si esorta ad aumentare l'ombreggiatura preferendo dove possibile l'utilizzo di NBS.



Clima, valutazioni climatico-ambientali per i processi di rigenerazione urbana

Analisi climatica per la città di Bologna

elaborato con la collaborazione dell'Istituto per la BioEconomia, Consiglio Nazionale delle Ricerche

Analisi del campo di vento

Durante la rigenerazione degli spazi pubblici, quando si vuol tener conto sia della resilienza urbana che della qualità, spesso viene trascurato il clima del luogo in cui ci troviamo. In realtà è molto importante considerare "l'aria" in cui stiamo operando con la nostra progettazione in quanto lo spazio pubblico è uno spazio all'aperto e perché se vogliamo costruire un ambiente resiliente e di qualità dobbiamo offrire benessere alle persone che poi andranno ad occuparlo. Tener conto del campo di vento, ad esempio, risulta fondamentale: in una zona ventosa si può pensare di inserire gli alberi in modo da fare barriera e recare meno disturbo a chi frequenta quel luogo durante l'inverno, ma agevolare invece il passaggio di aria durante l'estate. Umidità e temperatura dell'aria sono i parametri primari che determinano i vari indici di comfort e quindi la loro conoscenza e il loro cambiamento in funzione del nostro progetto possono darci importanti informazioni sullo stato di benessere del cittadino che si trova a frequentare quel determinato spazio pubblico. A tal fine è stata effettuata un'analisi dei dati climatici, reperendo i dati gratuitamente dal 'Sistema Dexter' del Servizio IdroMeteoClima dell'ARPA Emilia-Romagna (<http://www.smr.arpa.emr.it/dext3r/>). Per l'area di studio della città di Bologna è stata scelta la stazione meteorologica situata nel centro della città che rappresenta quindi una situazione climatica urbana. Sono stati analizzati quattro anni di dati (2013-2016) della velocità e direzione del vento, temperatura e umidità dell'aria che sono i parametri fisici utilizzati nell'inizializzazione del modello Envi-met. L'analisi sui 4 anni mostra che le direzioni prevalenti dei venti sono Ovest e Est e durante la stagione estiva prevalgono i venti provenienti da Sud Ovest (correnti Atlantiche). I valori medi sia annuali che stagionali estivi di temperatura e umidità rientrano nei valori standard dei climi temperati.

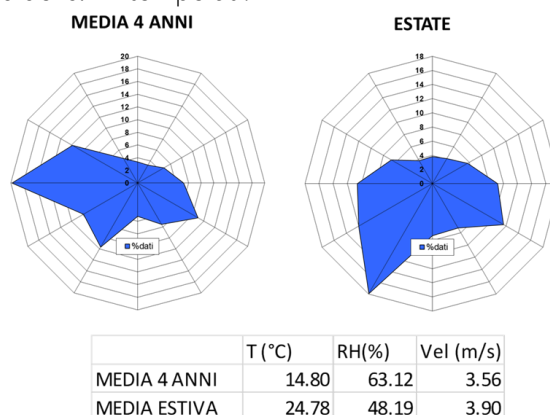


Figura 1. Rosa dei venti per un periodo di 4 anni (2013-2016) e media per quattro estati (2013-2014).

Ondate di Calore

Un'ondata di calore, in meteorologia, è un periodo di tempo atmosferico durante il quale la temperatura è insolitamente elevata rispetto alle temperature medie usualmente sperimentate in una data regione, in quel periodo e con caratteristiche di persistenza. La definizione di ondata di calore è relativa ad un dato clima, nel senso che ciò che è percepito dalla popolazione come una temperatura eccessiva in un clima temperato può non esserlo in un'area dal clima maggiormente caldo.

L'Atlante climatico dell'Emilia-Romagna (edizione 2017) è un prodotto dell'analisi climatica giornaliera 1961-2015 effettuata dal servizio Idro-meteo-clima (<https://www.arpae.it/>). I dati analizzati e prodotti dall'Arpae sono stati scaricati ed analizzati per la città di Bologna (Bo-Urban) e per il sito di Vedrana al fine di avere un confronto con un sito rurale.

I dati della temperatura dell'aria media annua per i due siti (Figura 2) mostrano una differenza di circa un grado centigrado tra i due siti a dimostrazione della ben nota isola di calore urbana che si sviluppa all'interno di un'area urbana a causa delle superfici non permeabili e dell'immagazzinamento e ri-emissione di calore da parte degli edifici.

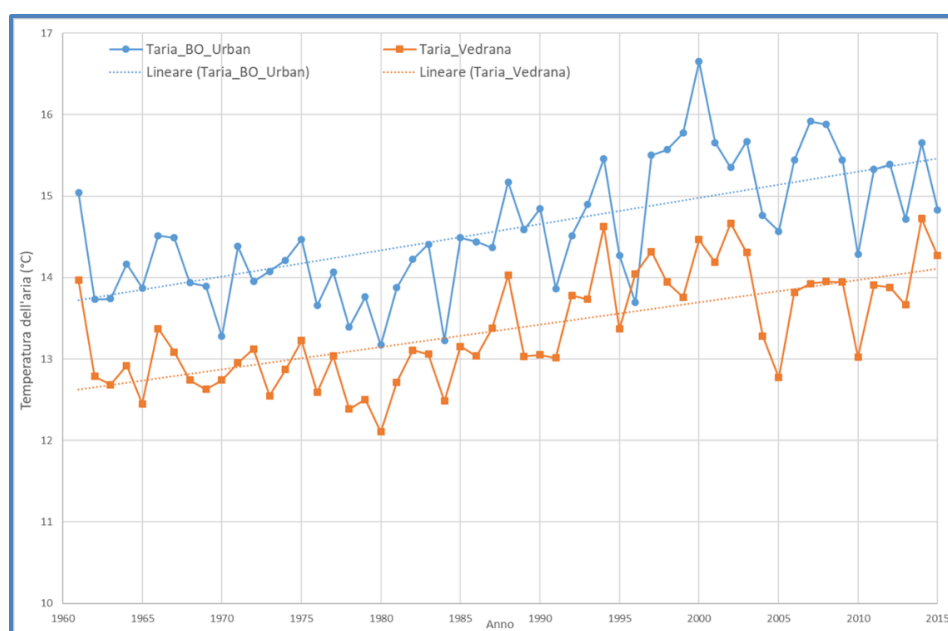


Figura 2. Media annuale della temperatura dell'aria per Bologna urban e Vedrana con le loro linee di tendenza dal 1961 al 2015.

L'incremento mostrato dalle linee di tendenza mostra quello che si riscontra a livello globale relativamente ai cambiamenti climatici e al riscaldamento globale: negli ultimi 50 anni la temperatura dell'aria media annua è aumentata. L'aumento di temperatura dell'aria fa sì che le ondate di calore siano sempre più frequenti e che i problemi legati alla salute della popolazione, soprattutto quella caratterizzata dalle fasce deboli, siano di maggiore interesse sia da un punto di vista medico, ma anche da un punto di vista di progettazione e rigenerazione urbanistica.

Nell'estate 2003 nel nostro paese si è osservato come l'onda di calore patologica per la salute umana fosse "un periodo di almeno tre giorni con temperatura massima dell'aria superiore a 30°C" (Ministero della Salute). Da questa definizione per la città di Bologna, attraverso i dati dell'Atlante Climatico di Arpae, sono state studiate e analizzate le ondate di calore dal 2000 al 2015. In Figura 3 sono riportate le ondate di calore in funzione del numero di giorni della durata di ogni singola ondata di calore. Per ogni anno sono poi riportati (nel quadrato in verde) i numeri di eventi che si sono avuti. Il grafico mostra

che non vi è tanto un incremento del numero di ondate di calore per anno bensì vi è un aumento della durata di ogni singola ondata di calore come si evidenzia meglio dalla Figura 4.

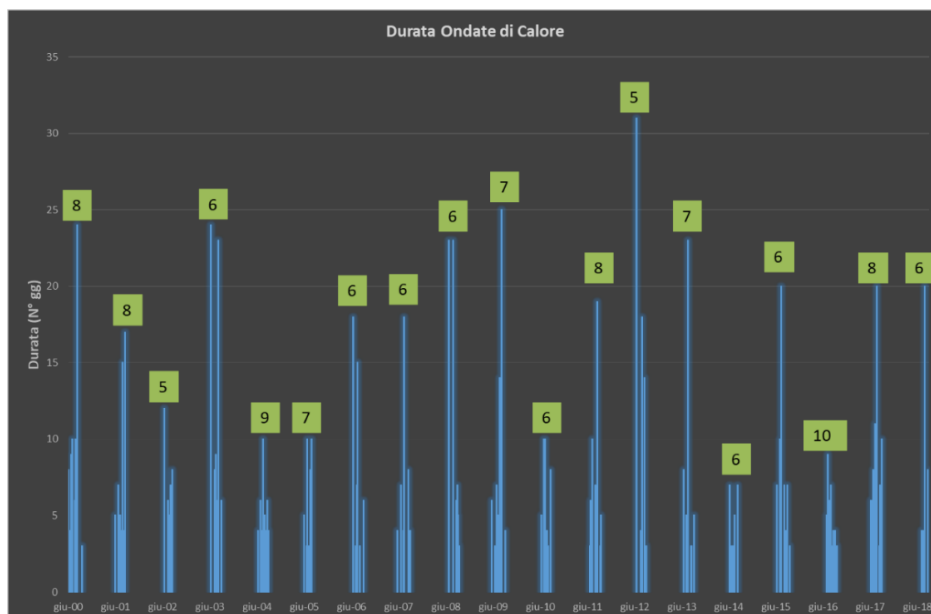


Figura 3. Numero di ondate di calore dal 2000 al 2018 per la città di Bologna in funzione della durata espressa in numeri di giorni consecutivi con temperature massime maggiori di 30°C.

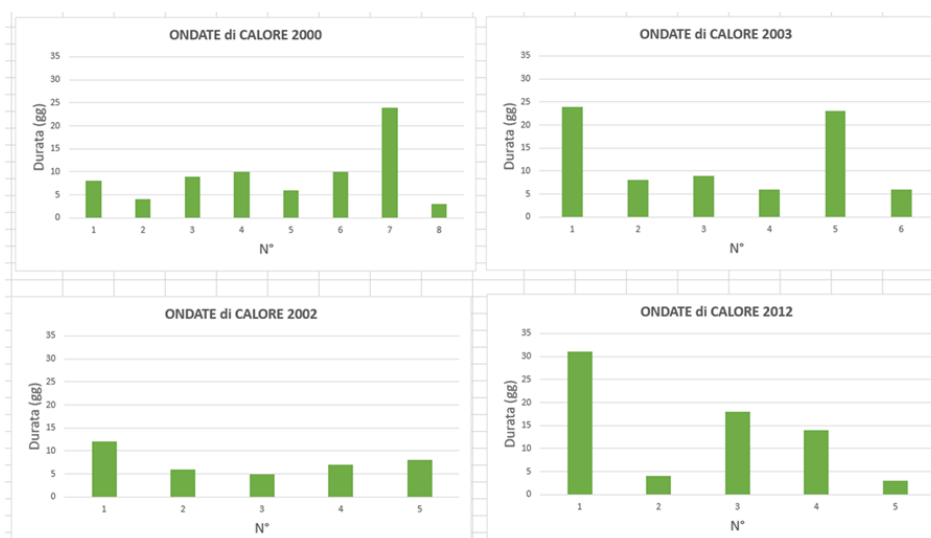


Figura 4. Numero delle ondate di calore durante 4 singoli anni in funzione della durata espressa in giorni consecutivi con temperature massime maggiori di 30°C.

La durata in termini di giorni di un'ondata di calore raggiunge anche valori di 25/30 giorni come è accaduto nel 2012: questo fa sì che le patologie legate alla presenza di un'ondata di calore si siano negli anni aggravate in quanto la persistenza di clima torrido e molto umido per un periodo di tempo prolungato porta sicuramente a effetti più gravi sulla salute umana.

Visto questo trend, e visto che è in aumento, diventa di fondamentale importanza uno studio degli ambienti urbani durante questi eventi per comprendere sia i processi fisici che si innescano, sia come le possibili soluzioni di rigenerazione urbana possano tenerne in conto e dare migliori.

Valutazione del microclima della città di Bologna

elaborato da Istituto per la BioEconomia, Consiglio Nazionale delle Ricerche

Il modello ENVIMET

ENVI-met (<http://www.envi-met.com/>) è un modello microclimatico tridimensionale non idrostatico (Bruse and Fleer, 1998) in grado di simulare le interazioni superficie-pianta-aria in ambiente urbano con una risoluzione spaziali di 0.5-10 m e una risoluzione temporale di 10 sec. È un modello fluidodinamico in grado di simulare diverse variabili tra cui il flusso intorno e tra gli edifici, i processi di scambio di calore e vapore sia alla superficie del suolo che dei muri, gli scambi turbolenti, alcuni parametri della vegetazione, la bioclimatologia e la dispersione di particelle. Il modello ENVI-met può essere utilizzato per diversi scopi al fine di studiare e comprendere diversi aspetti dei canyon urbani come gli effetti di orientamento e rapporto edifici/verde sul comfort urbano outdoor, il ruolo della vegetazione per la mitigazione dell'isola di calore urbana, ecc. ...

I dati di input necessari per far girare ENVI-met sono costituiti dalla descrizione dettagliata del suolo (asfalto, erba, terreno nudo, acqua, etc.), degli edifici (localizzazione, dimensioni), vegetazione (presenza di alberi, altezza e specie) e delle condizioni atmosferiche iniziali.

Il primo passo però è quello di definire l'area oggetto di studio, espressa in metri, e il numero di celle e le dimensioni della singola cella. Se, ad esempio, scelgo la griglia (area di studio) 100x100 m e un numero di 100 celle vorrà dire che ciascuna cella dovrà essere $100 \text{ m} / 100 \text{ celle} = 1 \text{ m}$, ovvero ogni singola cella deve avere una dimensione di 1m x 1m. Per sapere se è sufficiente dipende da cosa voglio andare a studiare: se l'obiettivo è valutare il microclima della piazza e delle strade può essere sufficiente, dato che, in genere, un edificio ha le dimensioni pari a 2 celle (2 m) così come la strada. Se invece l'obiettivo è la localizzazione di panchine o altri elementi di arredo urbano, può essere necessario avere celle da 2x2 m, ma in questo caso la dimensione massima dell'area di studio sarà di: $2 \times 100 = 200 \text{ m} \times 200 \text{ m}$. Può essere che l'area che ci interessa sia più ampia, perché si vuole selezionare una porzione di territorio, si può decidere che la cella sia pari a un edificio di dimensioni 10m x 10m, in questo modo la dimensione del quadrato sarà $10 \text{ m} \times 100 \text{ celle} = 1000 \text{ m} \times 1000 \text{ m}$.

Attraverso l'interfaccia grafica si inserisce l'orografia e le condizioni meteo iniziali in termini di velocità e direzione del vento a 10 m, Temperatura dell'aria e umidità relativa (valori massimo e minimo).

I risultati delle simulazioni possono mostrare gli effetti di come le soluzioni architettoniche, le tecnologie sostenibili, l'uso del verde e dell'acqua, consentono di migliorare le condizioni microclimatiche outdoor.

Simulazione Envi-met per 5 aree della città di Bologna

Le aree di studio per la città di Bologna sono state selezionate in coordinamento con l'Ufficio tecnico del Comune di Bologna (Figura 5). Tutte le aree rientrano nel Territorio Urbano Strutturato, prevalentemente negli ambiti storici, nei consolidati e in quelli da riqualificare, a volte lambite da parti di Territorio Rurale con valore paesaggistico e naturale/ambientale.

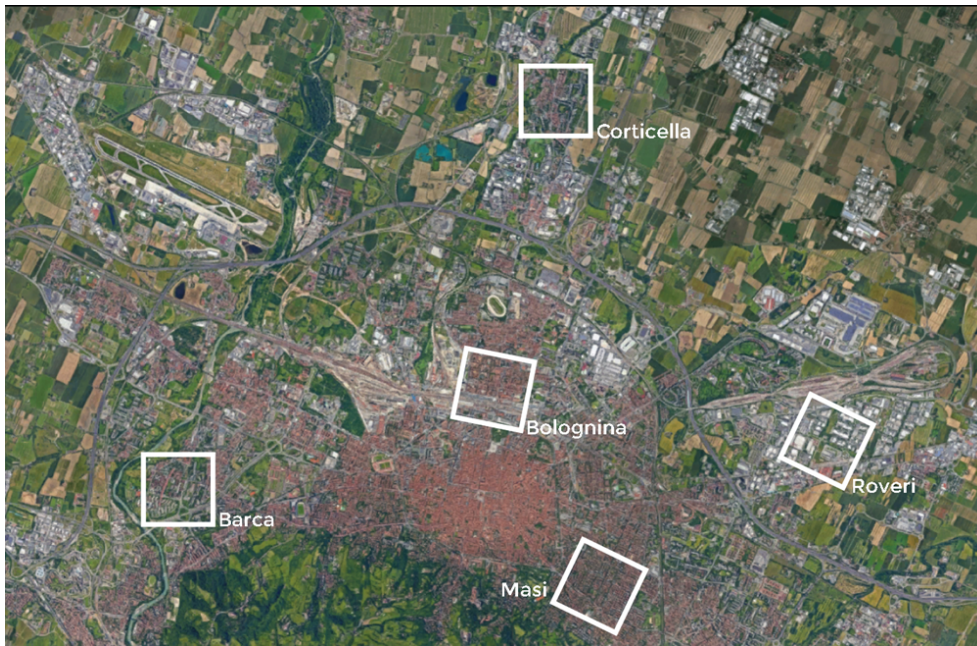


Figura 5. Geolocalizzazione delle cinque aree di studio del comune di Bologna simulate con il modello Envi-met.

Per ogni area di studio (Corticella, Bolognina, Masi, Barca e Roveri) è stato fatto girare il modello con le stesse condizioni meteorologiche iniziali. È stato scelto di simulare le condizioni microclimatiche per la giornata con la temperatura massima registrata durante l'ondata di calore dell'estate 2017. A tal fine è stata effettuata un'analisi dei dati meteorologici, reperendo i dati gratuitamente dal 'Sistema Dexter' del Servizio IdroMeteoClima dell'ARPA Emilia-Romagna (<http://www.smr.arpa.emr.it/dext3r/>). Per la città di Bologna è stata scelta la stazione meteorologica urbana della città a che è situata nel centro della città e rappresenta quindi una situazione climatica urbana: il giorno che ha registrato la temperatura massima nel 2017 è risultato essere il 4 Agosto. Dalla stazione meteorologica dell'Arpa sono quindi stati scaricati i dati orari e inseriti nel modello per la sua inizializzazione:

- Velocità vento: 2.4 m/s
- Direzione del vento: 220° da Nord
- Temperatura massima: 39.6°C alle ore 14:00
- Temperatura minima: 27.9°C alle ore 5:00
- Umidità relativa massima: 40% alle ore 02:00
- Umidità relativa minima: 17% alle ore 12:00

A. CORTICELLA

L'orografia delle varie aree comprendente palazzi, vegetazione e uso del suolo è stata inserita nel modello Envi-met e in Figura A1 è riportata l'immagine di Google Earth e la sua modellizzazione in 3D.

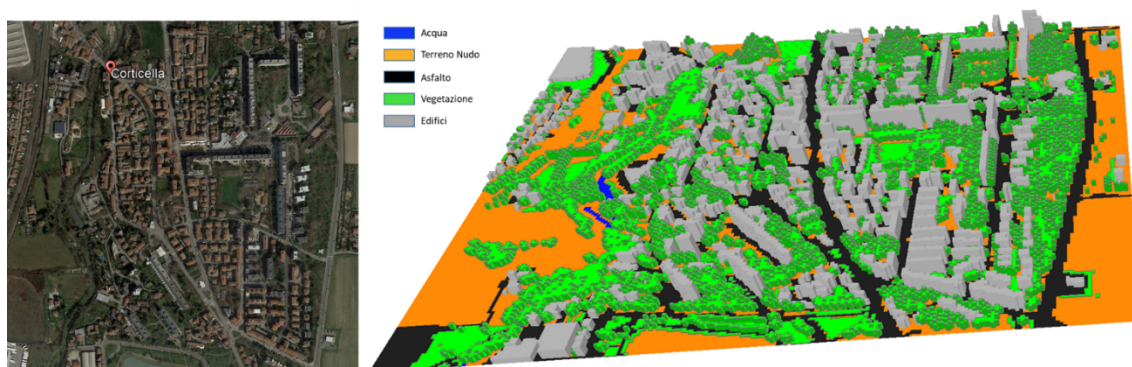


Figura A1. Area di studio di Corticella e orografia, vegetazione e uso del suolo inserito nel modello Envi-met.

Temperatura dell'aria

La mappa consente di conoscere la distribuzione della temperatura dell'aria in °C, negli spazi aperti e in prossimità degli edifici. La temperatura dell'aria influisce sugli scambi termici diretti tra corpo umano ed ambiente. La mappa evidenzia che i valori della temperatura dell'aria alle ore 14:00 sono compresi tra circa 37°C e 42°C nella maggior parte delle aree aperte. Le aree di colore fucsia ai margini non sono rappresentative per gli errori di bordo caratterizzanti il modello. In generale si possono notare come le strade e la zona centrale del quartiere siano le aree a maggior temperatura che possiamo considerare "tasche di aria calda" (Figura A2). La presenza del canale Navile, che è stato inserito nel modello, mitiga la zona verso Ovest così come la presenza di ampi prati con alberature quella verso est. Queste due zone di giorno effettuano mitigazione grazie ai processi di evapotraspirazione. Durante la notte si sviluppa la cosiddetta isola di calore dovuta al fatto che le superfici impermeabilizzate rilasciano tutto il calore accumulato durante il giorno. La mappa alle ore 2:00 mostra chiaramente la forma e l'intensità di questa isola di calore che comprende tutta l'area urbanizzata più densa e consolidata del quartiere (colore fucsia) dove sicuramente la popolazione che vi abita ne risentirà fortemente (Figura A3).

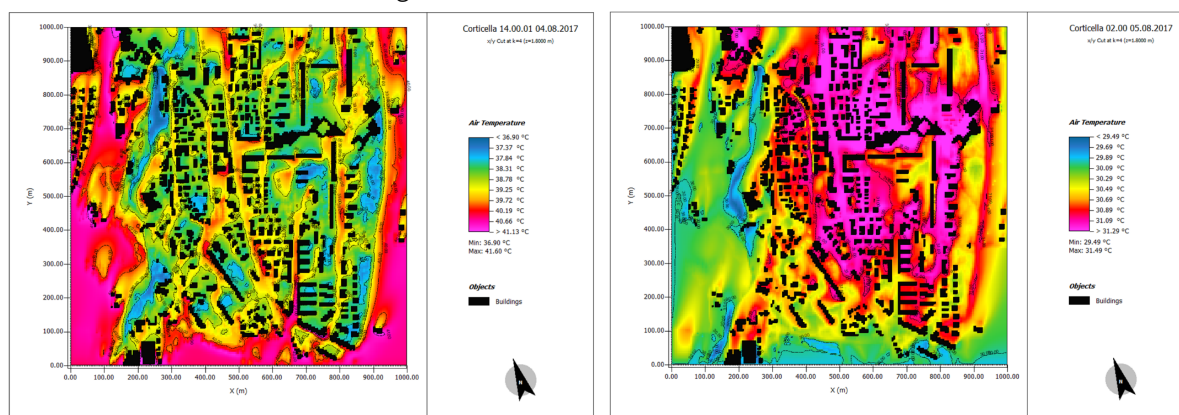


Figura A2. Temperatura dell'aria a 1.8 m di altezza alle ore 14 simulata nell'area Corticella.

Figura A3. Temperatura dell'aria a 1.8 m di altezza alle ore 02:00 simulata nell'area Corticella.

Flusso del vento

Il vettore velocità del vento può essere visualizzato attraverso queste frecce dove la lunghezza rappresenta l'intensità del vento, mentre l'angolo la direzione del vento. La velocità del vento è dovuta

principalmente alle condizioni climatiche locali (venti prevalenti) e alle caratteristiche microclimatiche locali (stratificazione di masse d'aria con diverse temperature e pressione). La mappa mostra valori di intensità del vento fino ai 4 m/s (brezza leggera) con valori che cambiano sostanzialmente in prossimità degli edifici. Le frecce permettono di vedere come si incanala il vento nella geografia del luogo, input importante che può dare considerazioni per il progetto (Figura A4).

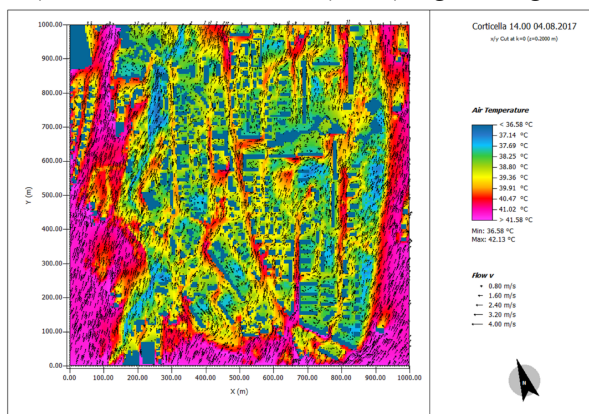


Figura A4. Temperatura dell'aria a 1.8 m di altezza e campo del vento (intensità data dalla lunghezza delle frecce e direzione dalla direzione delle frecce) simulate alle ore 14:00 nell'area Corticella.

Temperatura Superficiale

La temperatura superficiale esprime la temperatura con la quale la superficie scambia energia, per irraggiamento, con l'ambiente circostante. È influenzata dalle proprietà radiative (riflettanza, riflessione, assorbimento e albedo) e dalla emissività dei materiali della superficie che si sta considerando. La mappa mostra che vengono raggiunti valori superiori ai 50°C nelle superfici asfaltate mentre sulla vegetazione e acqua i valori restano tra i 23°C e i 45°C. Si distinguono chiaramente le aree vegetate da quelle non vegetate ed è interessante osservare come il terreno nudo presenti comunque un'elevata temperatura (intorno ai 50°C) a dimostrazione che anche se non asfaltata un'area senza vegetazione emette tantissimo calore (Figura A5).

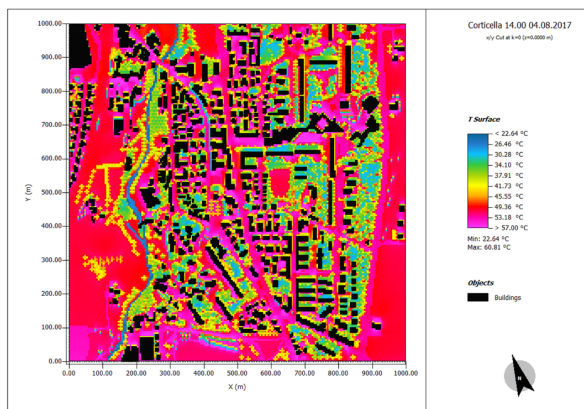


Figura A5. Temperatura della superficie simulata alle ore 14:00 nell'area di Corticella.

Predicted Mean Vote

L'indice PMV (Predicted Mean Vote) esprime il giudizio sul comfort termico attribuito dai soggetti in una data condizione microclimatica. I valori del PMV variano tra -3 (molto freddo) a +3 (molto caldo) e corrispondono alle percezioni di caldo/freddo dovuti agli scambi energetici per la termoregolazione del corpo umano. Il comfort di benessere si ha tra +0.5 e -0.5. La mappa diurna (ore 14:00) mostra valori piuttosto elevati e costanti a dimostrare l'elevato senso di caldo che si percepisce in tutta questa area. Durante la notte (ore 2:00) i valori si abbassano notevolmente, probabilmente grazie a una buona

circolazione dell'aria, ma si possono comunque notare le aree con un discomfort maggiore per la popolazione che sono nell'area costruita (Figura A6).



Valori del PMV e corrispondenti sensazioni di comfort o discomfort dell'essere umano.

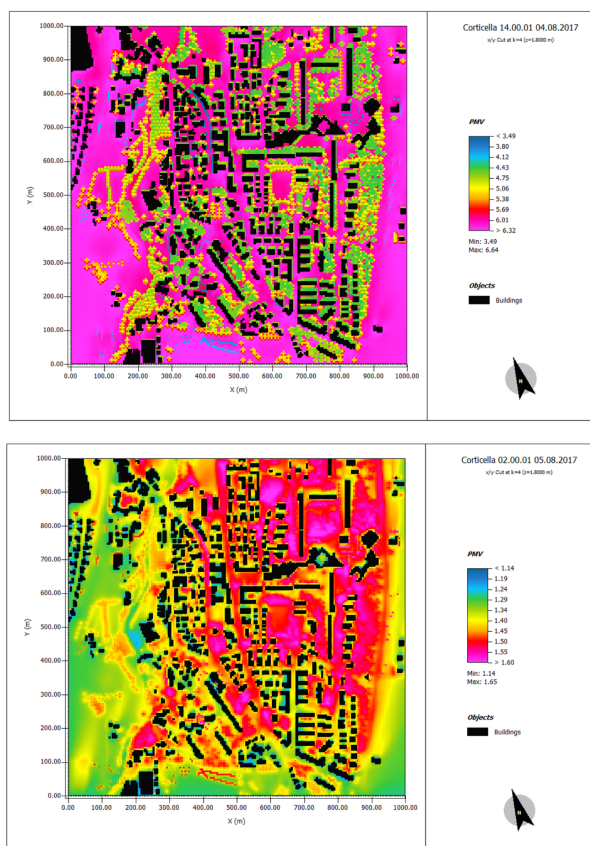


Figura A6. Predicted Mean Vote (PMV) a 1.8 m di altezza alle ore 14 e alle ore 02:00 simulata nell'area di Corticella.

PET Physiological equivalent temperature

PET physiological effective temperature

PMV	PET (°C)	Thermal perception	Grade of physiological stress
-3.5	4	Very cold	Extreme cold stress
-2.5	8	Cold	Strong cold stress
-1.5	13	Cool	Moderate cold stress
-0.5	18	Slightly cool	Slight cold stress
0.5	23	Comfortable	No thermal stress
1.5	29	Slightly warm	Slight heat stress
2.5	35	Warm	Moderate heat stress
3.5	41	Hot	Strong heat stress
		Very hot	Extreme heat stress

PET (Temperatura fisiologica equivalente) equivale alla temperatura che si avrebbe in un ambiente interno, una stanza, in cui ci fossero le stesse condizioni microclimatiche dell'esterno. Per meglio dire equivale alla temperatura dell'aria alla quale, in un tipico ambiente chiuso (senza vento e radiazione solare diretta), il bilancio di calore del corpo umano è in equilibrio con la stessa temperatura interna e della pelle che avrebbe in un ambiente esterno complesso.

Questo indice permette ad una persona ferma di confrontare gli effetti integrali di condizioni termiche complesse dell'esterno con la propria esperienza in ambienti chiusi. La mappa diurna mostra valori estremamente alti di PET (sopra i 40°C) praticamente in tutta l'area mentre quella notturna fa vedere condizioni di "Slightly warm" con le zone in rosso/fucsia che danno l'idea delle aree maggiormente non confortevoli (Figura A7).

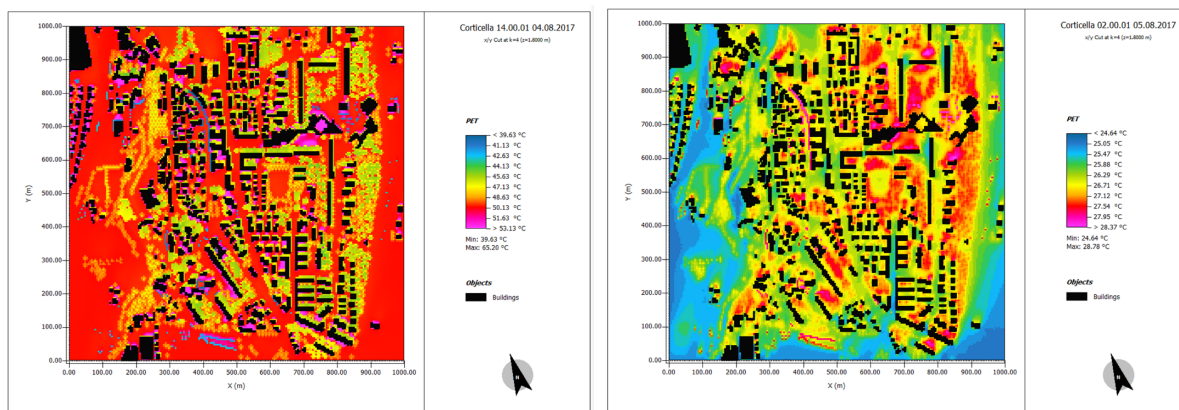


Figura A7. Temperatura Fisiologica Equivalente (PET) a 1.8 m di altezza alle ore 14 e alle ore 02:00 simulata nell'area di Corticella.

B. BOLOGNINA

L'orografia dell'area Bolognina comprendente palazzi, vegetazione e uso del suolo è stata inserita nel modello Envi-met e in Figura B1 è riportata l'immagine di Google Earth e la sua modellizzazione in 3D.

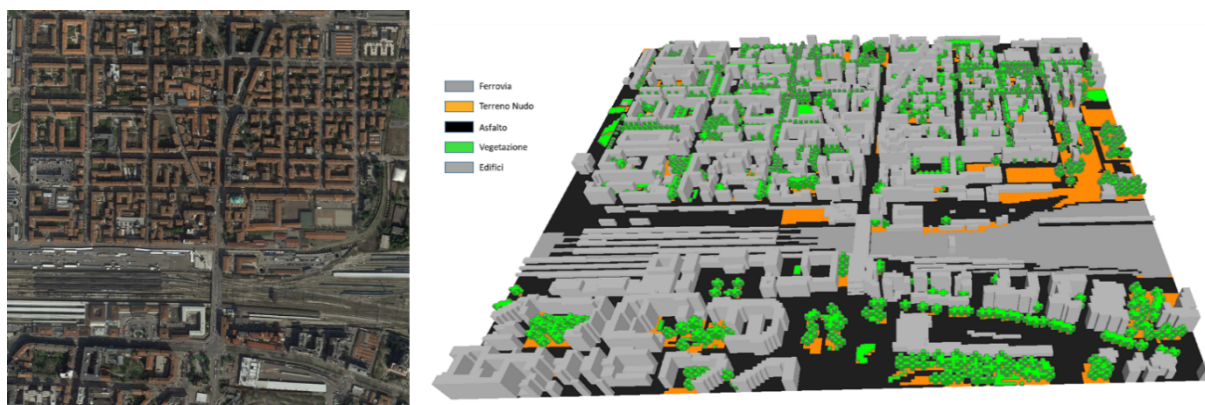


Figura B1. Area di studio della Bolognina e orografia, vegetazione e uso del suolo inserito nel modello Envi-met.

Temperatura dell'aria

La mappa consente di conoscere la distribuzione della temperatura dell'aria in °C, negli spazi aperti e in prossimità degli edifici. La temperatura dell'aria influisce sugli scambi termici diretti tra corpo umano ed ambiente. La mappa evidenzia che i valori della temperatura dell'aria alle ore 14:00 sono compresi tra circa 37°C e 41°C nella maggior parte delle aree aperte. Le aree di colore fucsia ai margini non sono rappresentative per gli errori di bordo caratterizzanti del modello. In generale si possono notare come le strade e la zona della ferrovia siano le aree a maggior temperatura che possiamo

considerare “tasche di aria calda (Figura B2). Durante la notte si sviluppa la cosiddetta isola di calore dovuta al fatto che le superfici impermeabilizzate rilasciano tutto il calore accumulato durante il giorno. La mappa alle ore 2:00 mostra chiaramente la forma e l’intensità di questa isola di calore che comprende tutta l’area urbanizzata del quartiere (colore fucsia) e la zona della ferrovia dove sicuramente la popolazione che vi abita ne risentirà fortemente (Figura B3).

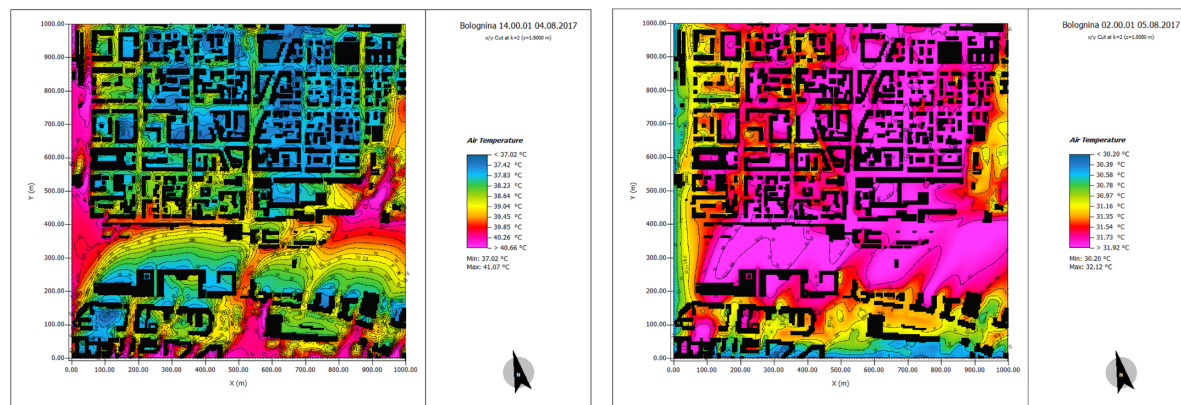


Figura B2. Temperatura dell’aria a 1.8 m di altezza alle ore 14 simulata nell’area Bolognina.
 Figura B3. Temperatura dell’aria a 1.8 m di altezza alle ore 02:00 simulata nell’area Bolognina.

Flusso del vento

Il vettore velocità del vento può essere visualizzato attraverso queste frecce dove la lunghezza rappresenta l’intensità del vento mentre l’angolo la direzione del vento. La velocità del vento è dovuta principalmente alle condizioni climatiche locali (venti prevalenti) e alle caratteristiche microclimatiche locali (stratificazione di masse d’aria con diverse temperature e pressione). La mappa mostra valori di intensità del vento fino ai 4 m/s (brezza leggera) con valori che cambiano sostanzialmente in prossimità degli edifici. Le frecce permettono di vedere come si incanala il vento nella geografia del luogo, input importante che può dare considerazioni per il progetto (Figura B4).

Temperatura Superficiale

La temperatura superficiale esprime la temperatura con la quale la superficie scambia energia, per irraggiamento, con l’ambiente circostante. È influenzata dalle proprietà radiative (riflettanza, riflessione, assorbimento e albedo) e dalla emissività dei materiali della superficie che si sta considerando. La mappa mostra che vengono raggiunti valori superiori ai 57°C nelle superfici asfaltate mentre sulla vegetazione i valori restano sui 30°C. Si distinguono chiaramente le aree a vegetate da quelle non vegetate ed è interessante osservare come il terreno nudo e la ferrovia presentino comunque un’elevata temperatura (maggiore di 50°C) a dimostrazione che anche se non asfaltate un’area senza vegetazione emette tantissimo calore (Figura B5).

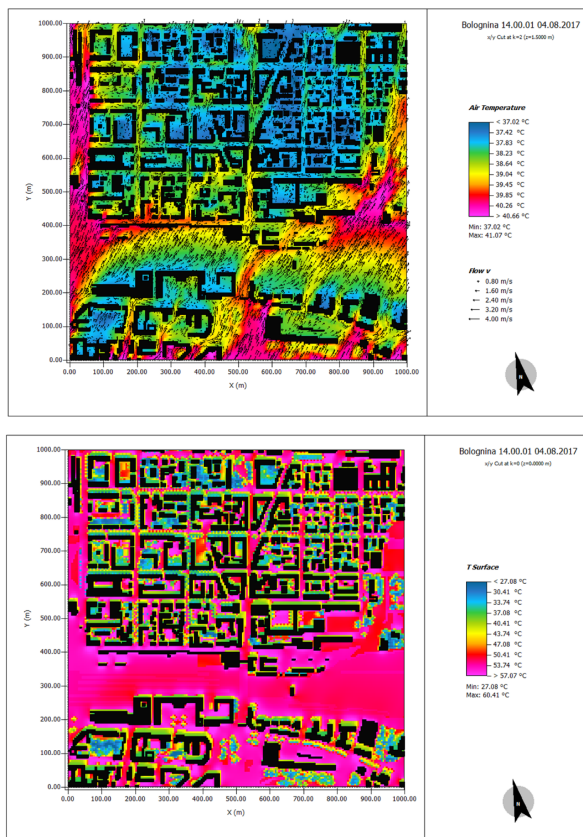


Figura B4. Temperatura dell'aria a 1.8 m di altezza e campo del vento (intensità data dalla lunghezza delle frecce e direzione dalla direzione delle frecce) simulate alle ore 14:00 nell'area Bologna.

Figura B5. Temperatura della superficie simulata alle ore 14:00 nell'area Bologna.

Predicted Mean Vote

L'indice PMV (Predicted Mean Vote) esprime il giudizio sul comfort termico attribuito dai soggetti in una data condizione microclimatica. I valori del PMV variano tra -3 (molto freddo) a +3 (molto caldo) e corrispondono alle percezioni di caldo/freddo dovuti agli scambi energetici per la termoregolazione del corpo umano. Il comfort di benessere si ha tra +0.5 e -0.5. La mappa diurna (ore 14:00) mostra valori piuttosto elevati e costanti a dimostrare l'elevato senso di caldo che si percepisce in tutta questa area. Durante la notte (ore 2:00) i valori si abbassano notevolmente, probabilmente grazie a una buona circolazione dell'aria, ma si possono comunque notare le aree con un discomfort maggiore per la popolazione che sono nell'area costruita e nella ferrovia (Figura B6).



Valori del PMV e corrispondenti sensazioni di comfort o discomfort dell'essere umano.

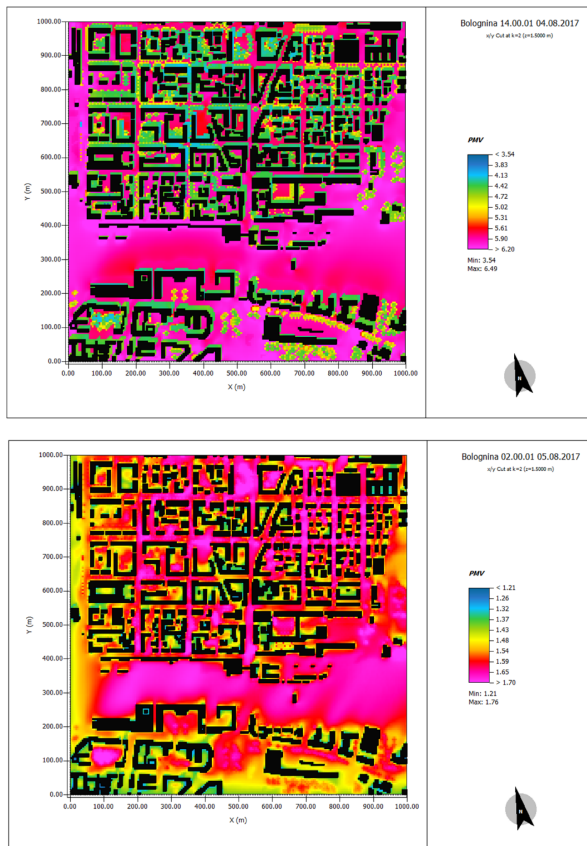


Figura B6. Predicted Mean Vote (PMV) a 1.8 m di altezza alle ore 14 e alle ore 02:00 simulata nell'area Bolognina.

PET Physiological equivalent temperature

PET physiological effective temperature

PMV	PET (°C)	Thermal perception	Grade of physiological stress
-3.5	4	Very cold	Extreme cold stress
-2.5	8	Cold	Strong cold stress
-1.5	13	Cool	Moderate cold stress
-0.5	18	Slightly cool	Slight cold stress
0.5	23	Comfortable	No thermal stress
1.5	29	Slightly warm	Slight heat stress
2.5	35	Warm	Moderate heat stress
3.5	41	Hot	Strong heat stress
		Very hot	Extreme heat stress

PET (Temperatura fisiologica equivalente) equivale alla temperatura che si avrebbe in un ambiente interno, una stanza, in cui ci fossero le stesse condizioni microclimatiche dell'esterno. Per meglio dire equivale alla temperatura dell'aria alla quale, in un tipico ambiente chiuso (senza vento e radiazione solare diretta), il bilancio di calore del corpo umano è in equilibrio con la stessa temperatura interna e della pelle che avrebbe in un ambiente esterno complesso. Questo indice permette ad una persona ferma di confrontare gli effetti integrali di condizioni termiche complesse dell'esterno con la propria esperienza in ambienti chiusi. La mappa diurna mostra valori estremamente alti di PET (sopra i 40°C) praticamente in tutta l'area mentre quella notturna fa vedere condizioni di "Slightly warm" con le zone in rosso/fucsia che danno l'idea delle aree maggiormente non confortevoli (Figura B7). Questo indice biometeorologico è più realistico per le condizioni outdoor (il PMV viene di solito utilizzato per l'indoor) e fa vedere come il maggior discomfort sia nelle aree del costruito piuttosto che lungo la

ferrovia come finora detto: la spiegazione è dovuta al fatto che essendo quell'area un'area aperta la circolazione dell'aria notturna agevola il benessere cosa che non accade all'interno della zona con edifici.

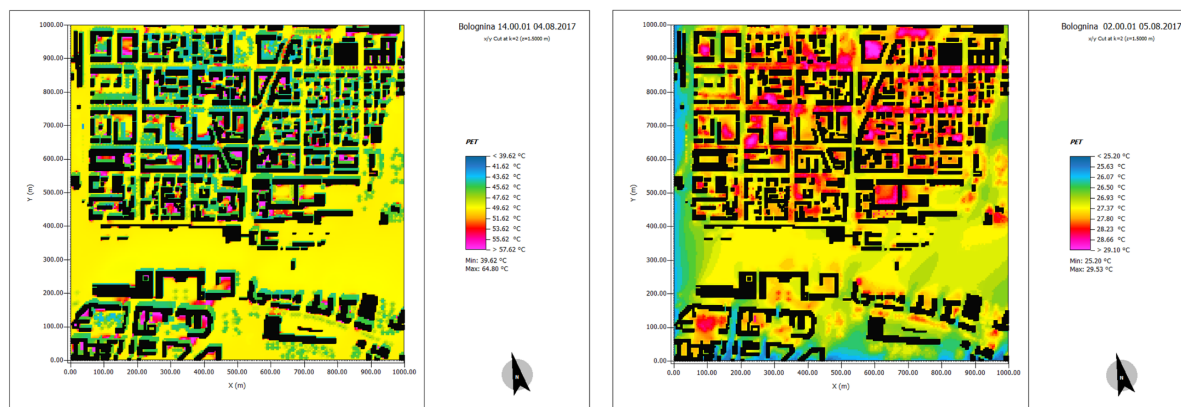


Figura B7. Temperatura Fisiologica Equivalente (PET) a 1.8 m di altezza alle ore 14 e alle ore 02:00 simulata nell'area Bologna.

C. ROVERI

L'orografia dell'area Roveri comprendente palazzi, vegetazione e uso del suolo è stata inserita nel modello Envi-met e in Figura C1 è riportata l'immagine di Google Earth e la sua modellizzazione in 3D.

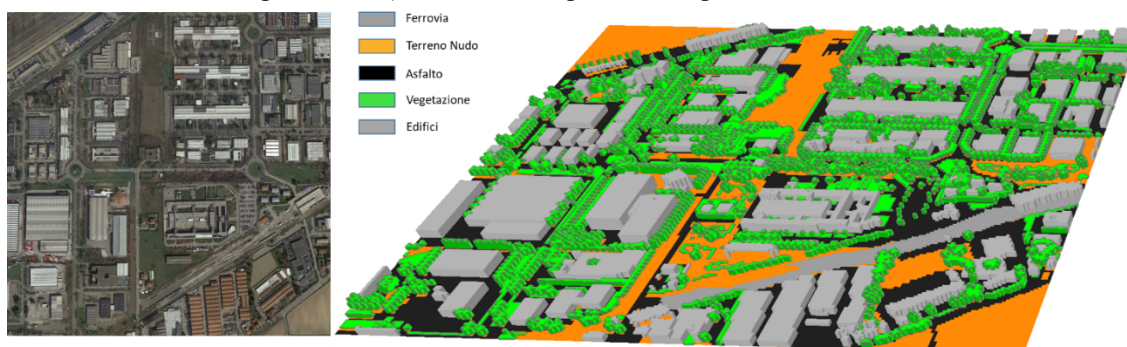


Figura C1. Area di studio delle Roveri e orografia, vegetazione e uso del suolo inserito nel modello Envi-met.

Temperatura dell'aria

La mappa consente di conoscere la distribuzione della temperatura dell'aria in °C, negli spazi aperti e in prossimità degli edifici. La temperatura dell'aria influisce sugli scambi termici diretti tra corpo umano ed ambiente. La mappa evidenzia che i valori della temperatura dell'aria alle ore 14:00 sono compresi tra circa 37°C e 41°C nella maggior parte delle aree aperte. In generale si possono notare come le strade e la zona della ferrovia siano le aree a maggior temperatura che possiamo considerare "tasche di aria calda (Figura C2). Durante la notte si sviluppa la cosiddetta isola di calore dovuta al fatto che le superfici impermeabilizzate rilasciano tutto il calore accumulato durante il giorno. La mappa alle ore 2:00 mostra chiaramente la forma e l'intensità di questa isola di calore che comprende tutta l'area urbanizzata del quartiere (colore fucsia) e la zona della ferrovia: nonostante questa sia una zona industriale e quindi non abitata l'effetto che ha sull'ambiente quest'area altamente cementificata ha un ruolo importante nel bilancio termico della città (Figura C3).

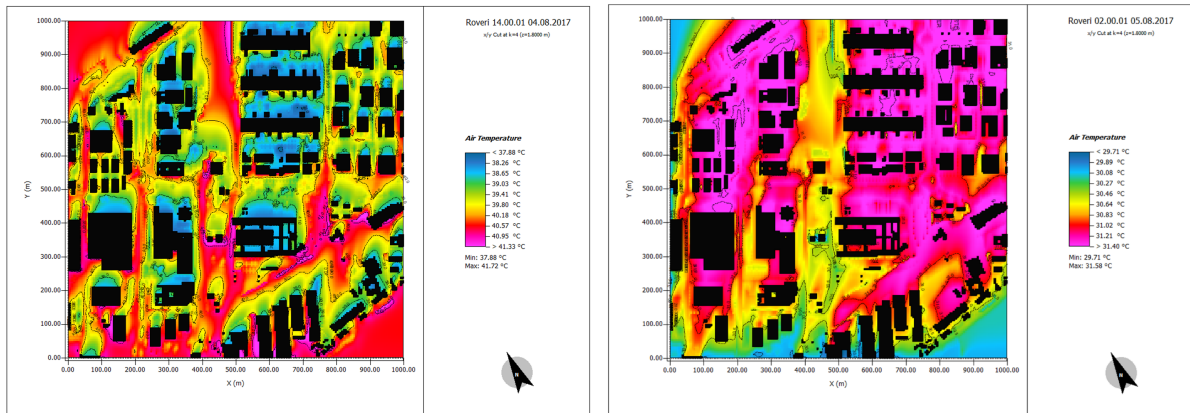


Figura C2. Temperatura dell'aria a 1.8 m di altezza alle ore 14 simulate nell'area Roveri.
 Figura C3. Temperatura dell'aria a 1.8 m di altezza alle ore 02:00 simulate nell'area Roveri.

Flusso del vento

Il vettore velocità del vento può essere visualizzato attraverso queste frecce dove la lunghezza rappresenta l'intensità del vento mentre l'angolo la direzione del vento. La velocità del vento è dovuta principalmente alle condizioni climatiche locali (venti prevalenti) e alle caratteristiche microclimatiche locali (stratificazione di masse d'aria con diverse temperature e pressione). La mappa mostra valori di intensità del vento fino ai 4 m/s (brezza leggera) con valori che cambiano sostanzialmente in prossimità degli edifici. Le frecce permettono di vedere come si incanala il vento nella geografia del luogo, input importante che può dare considerazioni per il progetto (Figura C4).

Temperatura Superficiale

La temperatura superficiale esprime la temperatura con la quale la superficie scambia energia, per irraggiamento, con l'ambiente circostante. È influenzata dalle proprietà radiative (riflettanza, riflessione, assorbimento e albedo) e dalla emissività dei materiali della superficie che si sta considerando. La mappa mostra che vengono raggiunti valori fino a 60°C nelle superfici asfaltate mentre sulla vegetazione i valori restano sui 30°C. Si distinguono chiaramente le aree a vegetate da quelle non vegetate ed è interessante osservare come il terreno nudo e la ferrovia presentino comunque un'elevata temperatura (maggiore di 50°C) a dimostrazione che anche se non asfaltate un'area senza vegetazione emette tantissimo calore (Figura C5).

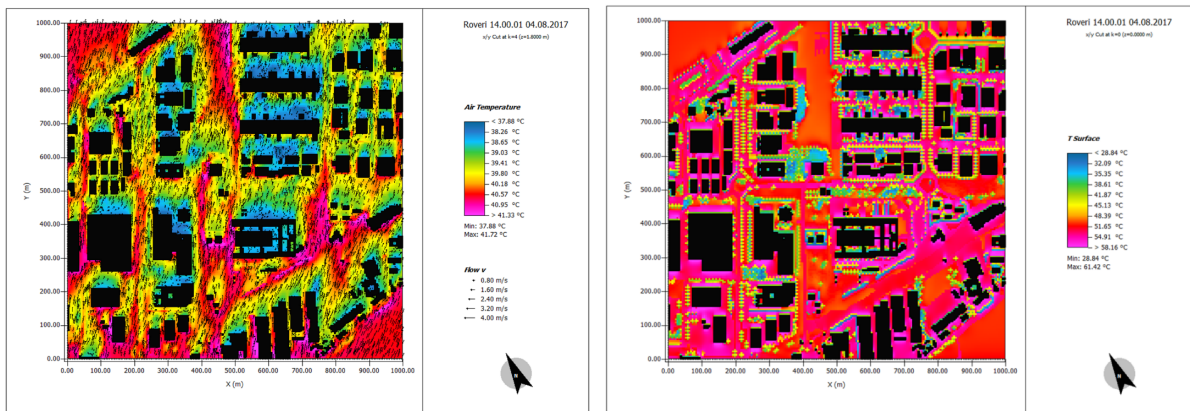


Figura C4. Temperatura dell'aria a 1.8 m di altezza e campo del vento (intensità data dalla lunghezza delle frecce e direzione dalla direzione delle frecce) simulate alle ore 14:00 nell'area Roveri.
 Figura C5. Temperatura della superficie simulata alle ore 14:00 nell'area Roveri.

Predicted Mean Vote

L'indice PMV (Predicted Mean Vote) esprime il giudizio sul comfort termico attribuito dai soggetti in una data condizione microclimatica. I valori del PMV variano tra -3 (molto freddo) a +3 (molto caldo) e corrispondono alle percezioni di caldo/freddo dovuti agli scambi energetici per la termoregolazione del corpo umano. Il comfort di benessere si ha tra +0.5 e -0.5. La mappa diurna (ore 14:00) mostra valori piuttosto elevati e costanti a dimostrare l'elevato senso di caldo che si percepisce in tutta questa area. Durante la notte (ore 2:00) i valori si abbassano notevolmente, probabilmente grazie a una buona circolazione dell'aria, ma si possono comunque notare le aree con un discomfort maggiore per la popolazione che sono nell'area costruita e nella ferrovia (Figura C6).



Valori del PMV e corrispondenti sensazioni di comfort o discomfort dell'essere umano.

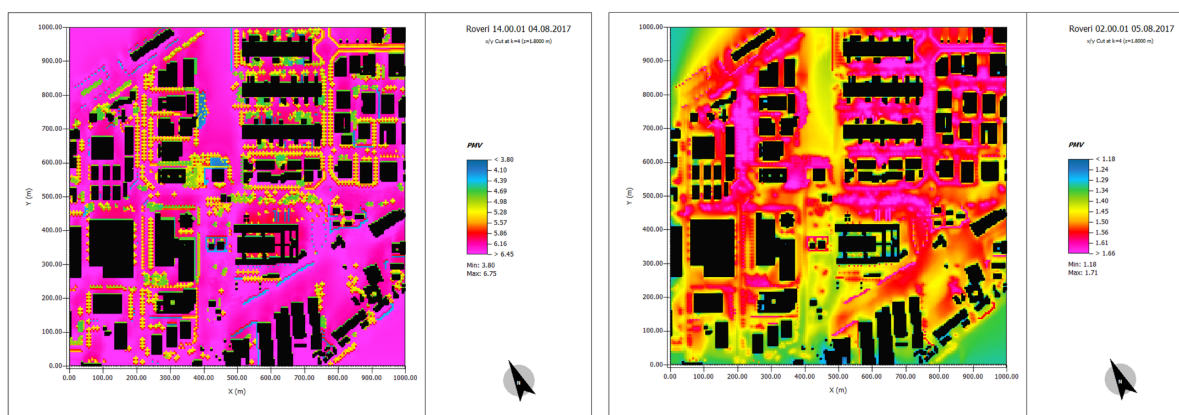


Figura C6. Predicted Mean Vote (PMV) a 1.8 m di altezza alle ore 14 e alle ore 02:00 simulata nell'area Roveri.

PET Physiological equivalent temperature

PET physiological effective temperature

PMV	PET (°C)	Thermal perception	Grade of physiological stress
-3.5	4	Very cold	Extreme cold stress
-2.5	8	Cold	Strong cold stress
-1.5	13	Cool	Moderate cold stress
-0.5	18	Slightly cool	Slight cold stress
0.5	23	Comfortable	No thermal stress
1.5	29	Slightly warm	Slight heat stress
2.5	35	Warm	Moderate heat stress
3.5	41	Hot	Strong heat stress
		Very hot	Extreme heat stress

PET (Temperatura fisiologica equivalente) equivale alla temperatura che si avrebbe in un ambiente interno, una stanza, in cui ci fossero le stesse condizioni microclimatiche dell'esterno. Per meglio dire equivale alla temperatura dell'aria alla quale, in un tipico ambiente chiuso (senza vento e radiazione solare diretta), il bilancio di calore del corpo umano è in equilibrio con la stessa temperatura interna e della pelle che avrebbe in un ambiente esterno complesso. Questo indice permette ad una persona ferma di confrontare gli effetti integrali di condizioni termiche complesse dell'esterno con la propria esperienza in ambienti chiusi. La mappa diurna mostra valori estremamente alti di PET (sopra i 45°C) praticamente in tutta l'area mentre quella notturna fa vedere condizioni di "warm" con le zone in

rosso/fucsia che danno l'idea delle aree maggiormente non confortevoli (Figura C7). Questo indice biometeorologico è più realistico per le condizioni outdoor (il PMV viene di solito utilizzato per l'indoor) e fa vedere come il maggior discomfort sia nelle aree del costruito piuttosto che lungo la ferrovia come finora detto: la spiegazione è dovuta al fatto che essendo quell'area un'area aperta la circolazione dell'aria notturna agevola il benessere cosa che non accade all'interno della zona con edifici.

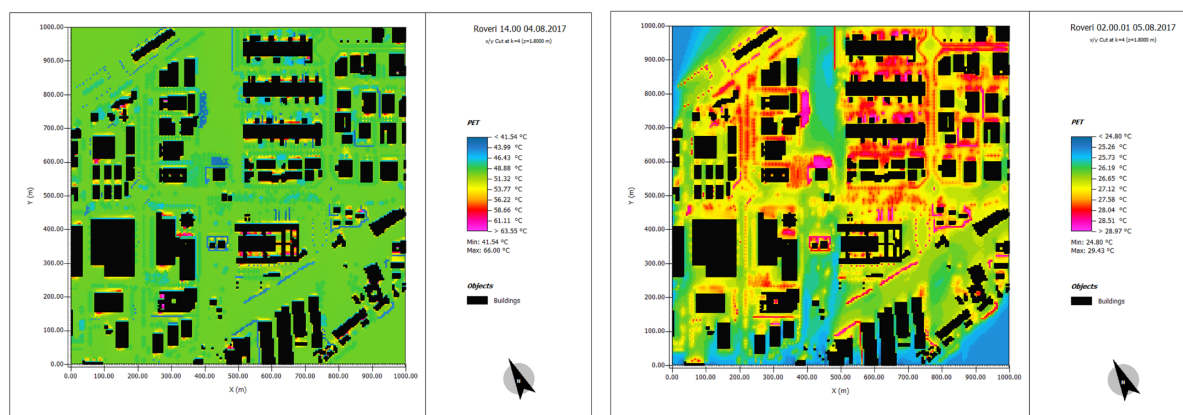


Figura C7. Temperatura Fisiologica Equivalente (PET) a 1.8 m di altezza alle ore 14 e alle ore 02:00 simulata nell'area Roveri.

D. BARCA

L'orografia dell'area Barca comprendente palazzi, vegetazione e uso del suolo è stata inserita nel modello Envi-met e in Figura D1 è riportata l'immagine di Google Earth e la sua modellizzazione in 3D.

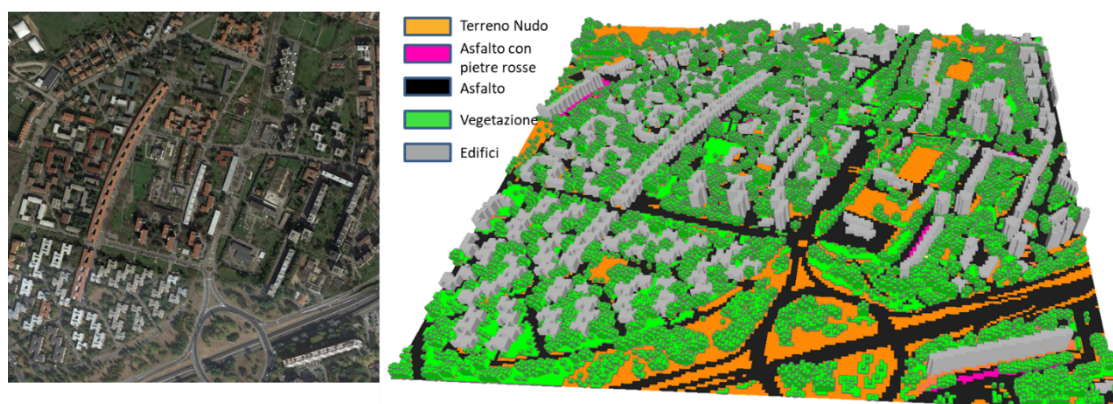


Figura D1. Area di studio della Barca e orografia, vegetazione e uso del suolo inserito nel modello Envi-met.

Temperatura dell'aria

La mappa consente di conoscere la distribuzione della temperatura dell'aria in °C, negli spazi aperti e in prossimità degli edifici. La temperatura dell'aria influisce sugli scambi termici diretti tra corpo umano ed ambiente. La mappa evidenzia che i valori della temperatura dell'aria alle ore 14:00 sono compresi tra circa 37°C e 41°C nella maggior parte delle aree aperte. In generale si può notare come le strade principali e a maggior scorrimento siano le aree a maggior temperature che possiamo considerare "tasche di aria calda" (Figura D2). Durante la notte si sviluppa la cosiddetta isola di calore dovuta al fatto che le superfici impermeabilizzate rilasciano tutto il calore accumulato durante il giorno. La mappa alle ore 2:00 mostra chiaramente la forma e l'intensità di questa isola di calore che comprende tutta l'area urbanizzata del quartiere (colore fucsia) (Figura D3).

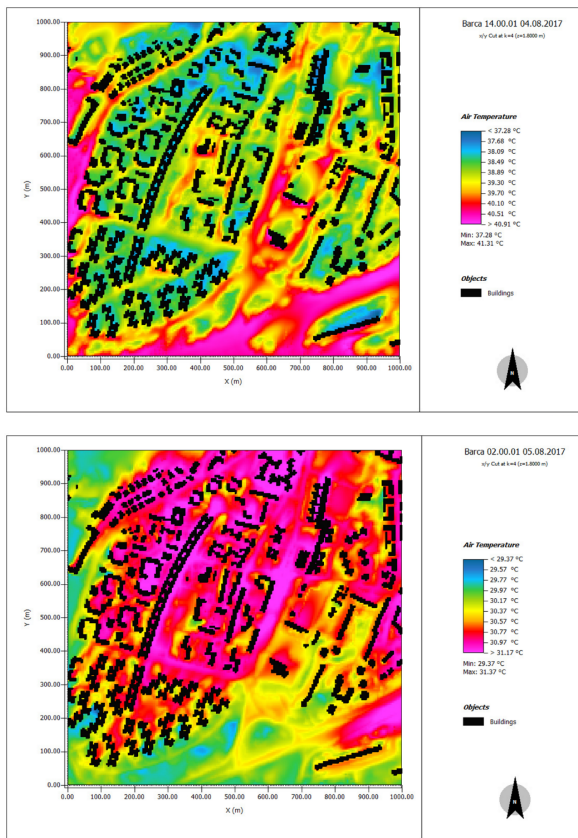


Figura D2. Temperatura dell'aria a 1.8 m di altezza alle ore 14 simulata nell'area Barca.
 Figura D3. Temperatura dell'aria a 1.8 m di altezza alle ore 02:00 simulata nell'area Barca.

Flusso del vento

Il vettore velocità del vento può essere visualizzato attraverso queste frecce dove la lunghezza rappresenta l'intensità del vento mentre l'angolo la direzione del vento. La velocità del vento è dovuta principalmente alle condizioni climatiche locali (venti prevalenti) e alle caratteristiche microclimatiche locali (stratificazione di masse d'aria con diverse temperature e pressione). La mappa mostra valori di intensità del vento fino ai 4 m/s (brezza leggera) con valori che cambiano sostanzialmente in prossimità degli edifici. Le frecce permettono di vedere come si incanala il vento nella geografia del luogo, input importante che può dare considerazioni per il progetto (Figura D4).

Temperatura Superficiale

La temperatura superficiale esprime la temperatura con la quale la superficie scambia energia, per irraggiamento, con l'ambiente circostante. È influenzata dalle proprietà radiative (riflettanza, riflessione, assorbimento e albedo) e dalla emissività dei materiali della superficie che si sta considerando. La mappa mostra che vengono raggiunti valori fino a 60°C nelle superfici asfaltate mentre sulla vegetazione i valori restano sui 30°C. Si distinguono chiaramente le aree a vegetate da quelle non vegetate ed è interessante osservare come il terreno nudo presenti comunque un'elevata temperatura (maggiore di 50°C) a dimostrazione che anche se non asfaltate un'area senza vegetazione emette tantissimo calore (Figura D5).

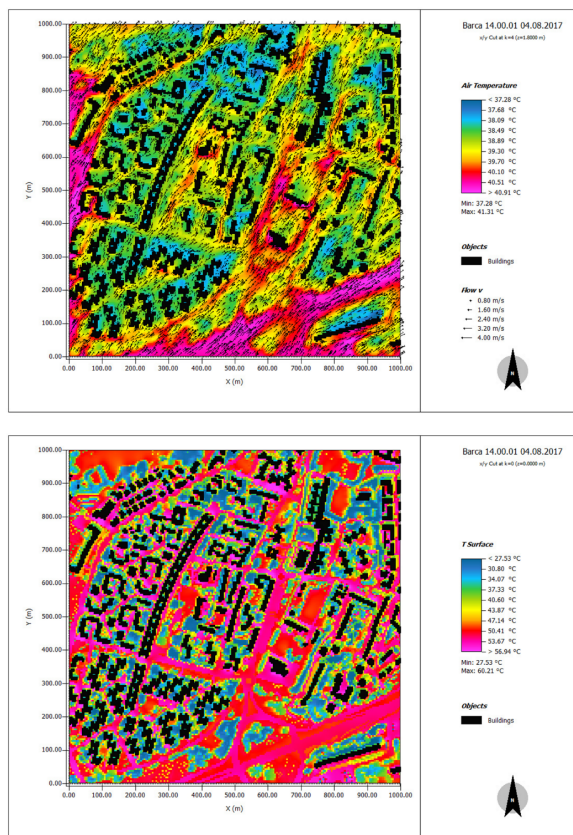


Figura D4. Temperatura dell'aria a 1.8 m di altezza e campo del vento (intensità data dalla lunghezza delle frecce e direzione dalla direzione delle frecce) simulate alle ore 14:00 nell'area Barca.
Figura D5. Temperatura della superficie simulata alle ore 14:00 nell'area Barca.

Predicted Mean Vote

L'indice PMV (Predicted Mean Vote) esprime il giudizio sul comfort termico attribuito dai soggetti in una data condizione microclimatica. I valori del PMV variano tra -3 (molto freddo) a +3 (molto caldo) e corrispondono alle percezioni di caldo/freddo dovuti agli scambi energetici per la termoregolazione del corpo umano. Il comfort di benessere si ha tra +0.5 e -0.5. La mappa diurna (ore 14:00) mostra valori piuttosto elevati e costanti a dimostrare l'elevato senso di caldo che si percepisce in tutta questa area. Durante la notte (ore 2:00) i valori si abbassano notevolmente, probabilmente grazie a una buona circolazione dell'aria, ma si possono comunque notare le aree con un discomfort maggiore per la popolazione che sono nell'area costruita soprattutto nella parte centrale (Figura D6).



Valori del PMV e corrispondenti sensazioni di comfort o discomfort dell'essere umano.

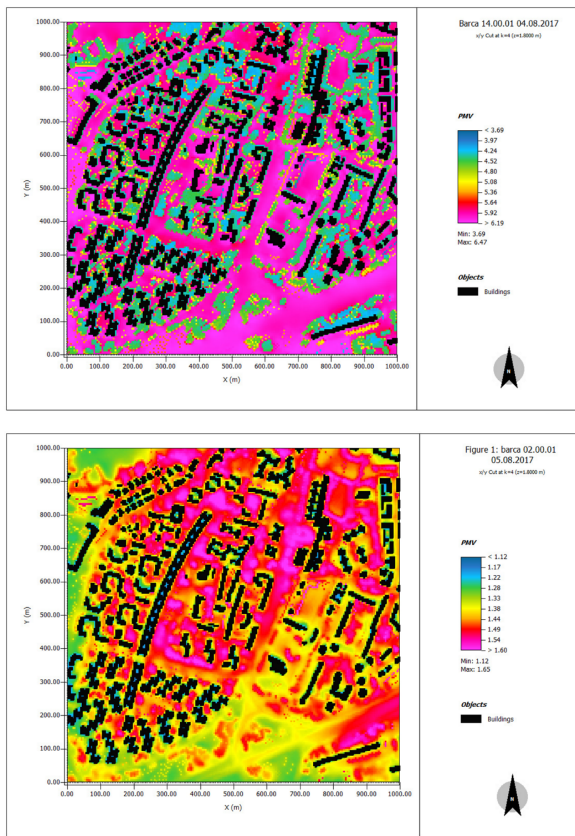


Figura D6. Predicted Mean Vote (PMV) a 1.8 m di altezza alle ore 14 e alle ore 02:00 simulata nell'area Barca.

PET Physiological equivalent temperature

PET physiological effective temperature

PMV	PET (°C)	Thermal perception	Grade of physiological stress
-3.5	4	Very cold	Extreme cold stress
-2.5	8	Cold	Strong cold stress
-1.5	13	Cool	Moderate cold stress
-0.5	18	Slightly cool	Slight cold stress
0.5	23	Comfortable	No thermal stress
1.5	29	Slightly warm	Slight heat stress
2.5	35	Warm	Moderate heat stress
3.5	41	Hot	Strong heat stress
		Very hot	Extreme heat stress

PET (Temperatura fisiologica equivalente) equivale alla temperatura che si avrebbe in un ambiente interno, una stanza, in cui ci fossero le stesse condizioni microclimatiche dell'esterno. Per meglio dire equivale alla temperatura dell'aria alla quale, in un tipico ambiente chiuso (senza vento e radiazione solare diretta), il bilancio di calore del corpo umano è in equilibrio con la stessa temperatura interna e della pelle che avrebbe in un ambiente esterno complesso. Questo indice permette ad una persona ferma di confrontare gli effetti integrali di condizioni termiche complesse dell'esterno con la propria esperienza in ambienti chiusi. La mappa diurna mostra valori estremamente alti di PET (sopra i 40°C) praticamente in tutta l'area mentre quella notturna fa vedere condizioni di "warm" con le zone in rosso/fucsia che danno l'idea delle aree maggiormente non confortevoli (Figura D7). Questo indice biometeorologico è più realistico per le condizioni outdoor (il PMV viene di solito utilizzato per l'indoor) e fa vedere come il maggior discomfort sia nelle aree del costruito piuttosto che lungo la

ferrovia come finora detto: la spiegazione è dovuta al fatto che essendo quell'area un'area aperta la circolazione dell'aria notturna agevola il benessere cosa che non accade all'interno della zona con edifici.

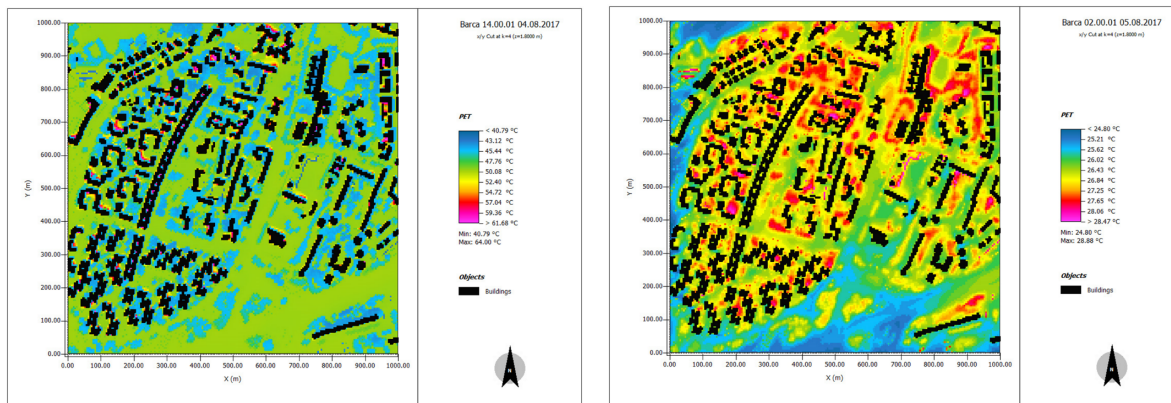


Figura D7. Temperatura Fisiologica Equivalente (PET) a 1.8 m di altezza alle ore 14 e alle ore 02:00 simulata nell'area Barca.

E. MASI

L'orografia dell'area Masi comprendente palazzi, vegetazione e uso del suolo è stata inserita nel modello Envi-met e in Figura E1 è riportata l'immagine di Google Earth e la sua modellizzazione in 3D.

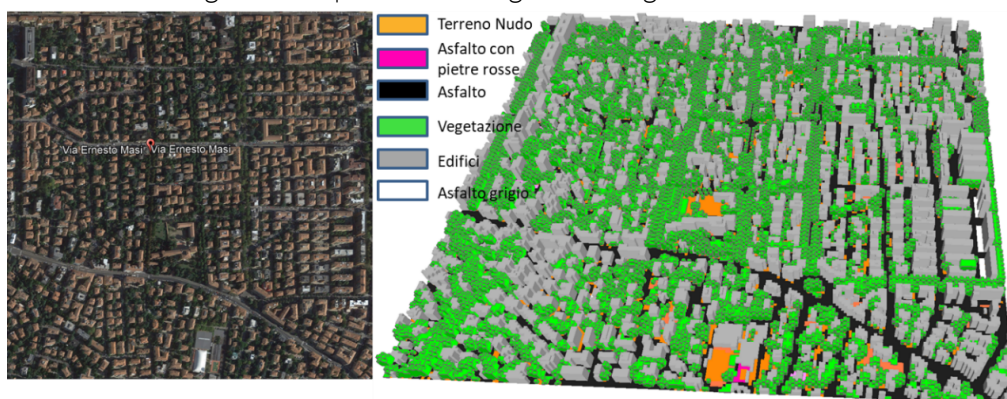


Figura E1. Area di studio della Barca e orografia, vegetazione e uso del suolo inserito nel modello Envi-met.

Temperatura dell'aria

La mappa consente di conoscere la distribuzione della temperatura dell'aria in °C, negli spazi aperti e in prossimità degli edifici. La temperatura dell'aria influisce sugli scambi termici diretti tra corpo umano ed ambiente. La mappa evidenzia che i valori della temperatura dell'aria alle ore 14:00 sono compresi tra circa 34°C e 40°C nella maggior parte delle aree aperte. In generale si può notare come le strade principali e a maggior scorrimento siano le aree a maggior temperature che possiamo considerare "tasche di aria calda (Figura E2). La zona fucsia a Sud è un effetto di bordo del modello e la presenza di molta vegetazione fatta di strade alberate ha un effetto mitigante per alcune strade interne del quartiere. Durante la notte si sviluppa la cosiddetta isola di calore dovuta al fatto che le superfici impermeabilizzate rilasciano tutto il calore accumulato durante il giorno. La mappa alle ore 2:00 mostra chiaramente la forma e l'intensità di questa isola di calore che comprende tutta l'area urbanizzata del quartiere (colore fucsia) ma in particolare la zona a Est caratterizzata da meno vegetazione (Figura E3).

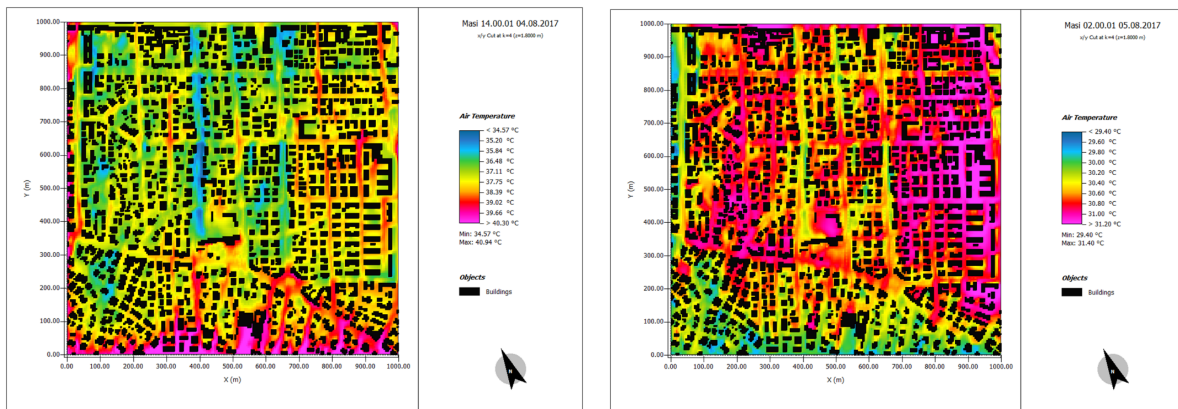


Figura E2. Temperatura dell'aria a 1.8 m di altezza alle ore 14 simulate nell'area Masi.
 Figura E3. Temperatura dell'aria a 1.8 m di altezza alle ore 02:00 simulate nell'area Masi.

Flusso del vento

Il vettore velocità del vento può essere visualizzato attraverso queste frecce dove la lunghezza rappresenta l'intensità del vento mentre l'angolo la direzione del vento. La velocità del vento è dovuta principalmente alle condizioni climatiche locali (venti prevalenti) e alle caratteristiche microclimatiche locali (stratificazione di masse d'aria con diverse temperature e pressione). La mappa mostra valori di intensità del vento fino ai 4 m/s (brezza leggera) con valori che cambiano sostanzialmente in prossimità degli edifici. Le frecce permettono di vedere come si incanala il vento nella geografia del luogo, input importante che può dare considerazioni per il progetto (Figura E4).

Temperatura Superficiale

La temperatura superficiale esprime la temperatura con la quale la superficie scambia energia, per irraggiamento, con l'ambiente circostante. È influenzata dalle proprietà radiative (riflettanza, riflessione, assorbimento e albedo) e dalla emissività dei materiali della superficie che si sta considerando. La mappa mostra che vengono raggiunti valori fino a 60°C nelle superfici asfaltate mentre sulla vegetazione i valori restano sui 30°C. Si distinguono chiaramente le aree a vegetate da quelle non vegetate ed è interessante osservare come i viali alberati mitigano l'effetto del surriscaldamento superficiale dell'asfalto anche solo grazie all'effetto ombra (Figura E5).

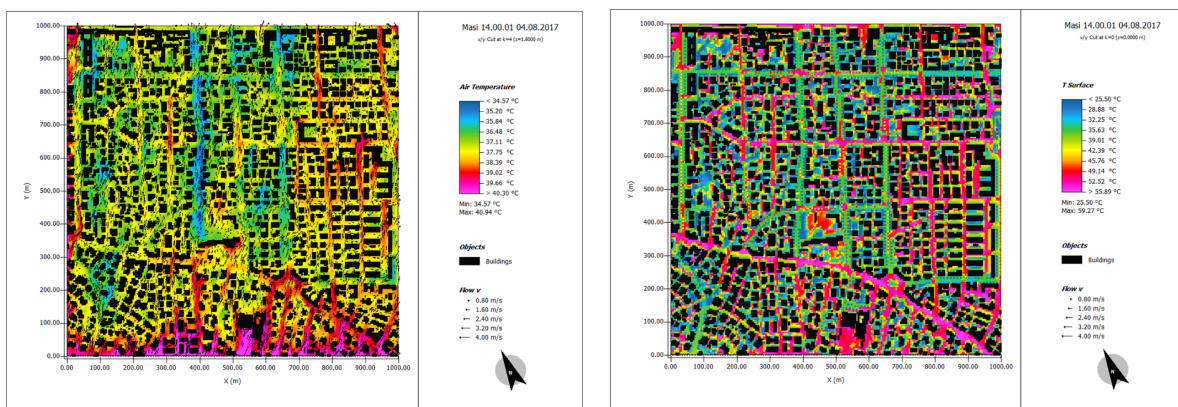


Figura E4. Temperatura dell'aria a 1.8 m di altezza e campo del vento (intensità data dalla lunghezza delle frecce e direzione dalla direzione delle frecce) simulate alle ore 14:00 nell'area Masi.
 Figura E5. Temperatura della superficie simulata alle ore 14:00 nell'area Masi.

Predicted Mean Vote

L'indice PMV (Predicted Mean Vote) esprime il giudizio sul comfort termico attribuito dai soggetti in una data condizione microclimatica. I valori del PMV variano tra -3 (molto freddo) a +3 (molto caldo) e

corrispondono alle percezioni di caldo/freddo dovuti agli scambi energetici per la termoregolazione del corpo umano. Il comfort di benessere si ha tra +0.5 e -0.5. La mappa diurna (ore 14:00) mostra valori piuttosto elevati e costanti a dimostrare l'elevato senso di caldo che si percepisce in tutta questa area, anche se nelle strade alberate si ottengono i valori più bassi. Durante la notte (ore 2:00) i valori si abbassano notevolmente, probabilmente grazie a una buona circolazione dell'aria, ma si possono comunque notare le aree con un discomfort maggiore per la popolazione che sono nell'area costruita soprattutto nella parte centrale (Figura E6).



Valori del PMV e corrispondenti sensazioni di comfort o discomfort dell'essere umano.

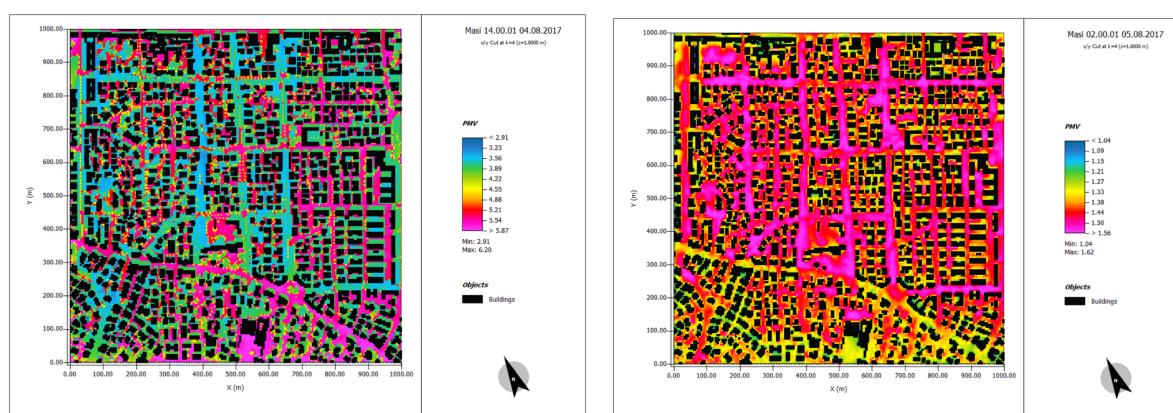


Figura E6. Predicted Mean Vote (PMV) a 1.8 m di altezza alle ore 14 e alle ore 02:00 simulata nell'area Masi.

PET Physiological equivalent temperature

PET physiological effective temperature

PMV	PET (°C)	Thermal perception	Grade of physiological stress
-3.5	4	Very cold	Extreme cold stress
-2.5	8	Cold	Strong cold stress
-1.5	13	Cool	Moderate cold stress
-0.5	18	Slightly cool	Slight cold stress
0.5	23	Comfortable	No thermal stress
1.5	29	Slightly warm	Slight heat stress
2.5	35	Warm	Moderate heat stress
3.5	41	Hot	Strong heat stress
		Very hot	Extreme heat stress

PET (Temperatura fisiologica equivalente) equivale alla temperatura che si avrebbe in un ambiente interno, una stanza, in cui ci fossero le stesse condizioni microclimatiche dell'esterno. Per meglio dire equivale alla temperatura dell'aria alla quale, in un tipico ambiente chiuso (senza vento e radiazione solare diretta), il bilancio di calore del corpo umano è in equilibrio con la stessa temperatura interna e della pelle che avrebbe in un ambiente esterno complesso. Questo indice permette ad una persona ferma di confrontare gli effetti integrali di condizioni termiche complesse dell'esterno con la propria esperienza in ambienti chiusi. La mappa diurna mostra valori estremamente alti di PET (sopra i 35°C) praticamente in tutta l'area mentre quella notturna fa vedere condizioni di "warm" con le zone in

rosso/fucsia che danno l'idea delle aree maggiormente non confortevoli (Figura E7). Questo indice biometeorologico è più realistico per le condizioni outdoor (il PMV viene di solito utilizzato per l'indoor) e fa vedere come il maggior discomfort sia nelle strade asfaltate e senza vegetazione, mentre anche durante le ore diurne i viali alberati fanno sì che gli indici biometeorologici si abbassino rispetto alle altre zone fin qui considerate.

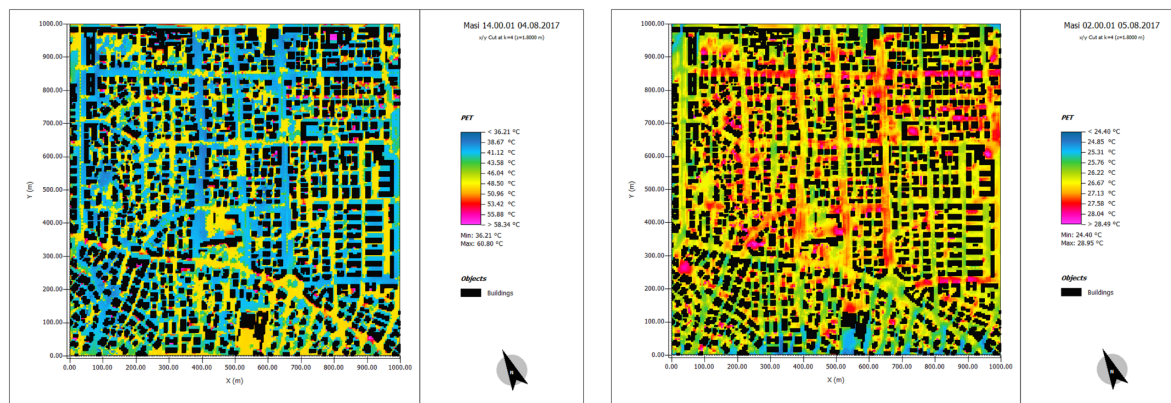


Figura E7. Temperatura Fisiologica Equivalente (PET) a 1.8 m di altezza alle ore 14 e alle ore 02:00 simulata nell'area Barca.



Aria e rumore, qualità dell'aria

Azioni volte al miglioramento della qualità dell'aria

elaborazione contenuti del Piano Integrato Regionale Aria (PAIR) e Report dati 2018 della rete di monitoraggio Arpae

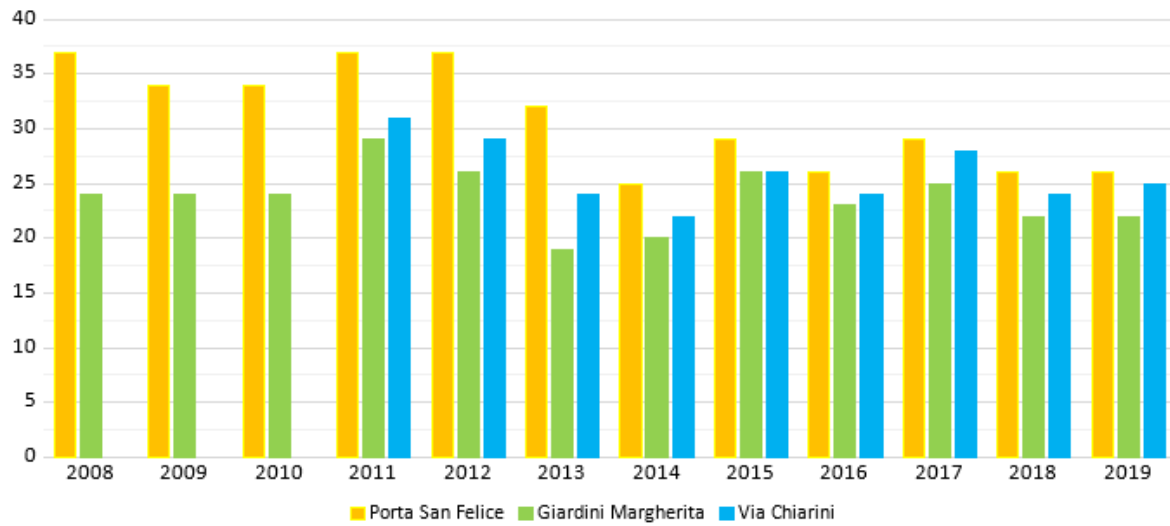
La qualità dell'aria è il risultato di una complessa compartecipazione di vari fattori: le emissioni dirette di inquinanti primari da sorgenti antropiche o naturali, i processi dinamici che hanno luogo nei bassi strati dell'atmosfera e le trasformazioni chimico-fisiche che possono portare alla formazione di inquinanti secondari. Condizioni climatiche e conformazione del territorio influiscono sulle concentrazioni misurate localmente, essendo determinanti dal punto di vista dell'efficacia dei meccanismi di trasporto orizzontale, rimescolamento verticale, rimozione per deposizione e trasformazione degli inquinanti in atmosfera. I cambiamenti climatici in corso, inoltre, stanno determinando frequenti periodi di assenza di precipitazioni che rappresentano un'ulteriore condizione sfavorevole. Da queste considerazioni si evince come la problematica dell'inquinamento atmosferico coinvolga un contesto non circoscritto al solo territorio comunale.

A Bologna, monitorando le tre stazioni di Porta San Felice, Giardini Margherita e Via Chiarini sono stati registrati i valori di seguito riportati:

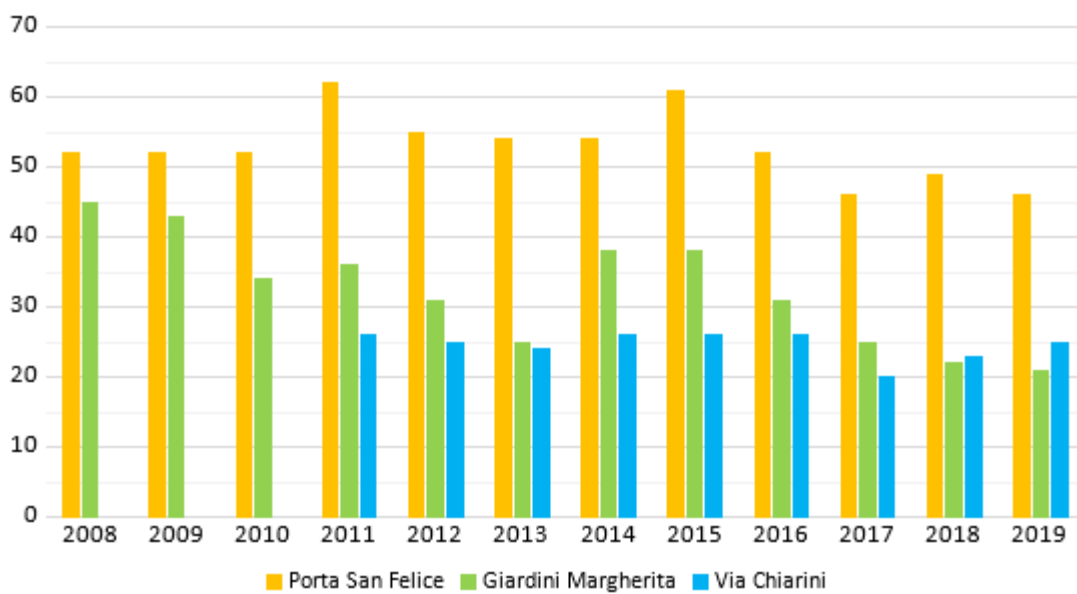
Numero giorni di superamento del valore limite giornaliero 50 µg/m³ (max 35 sup./anno)

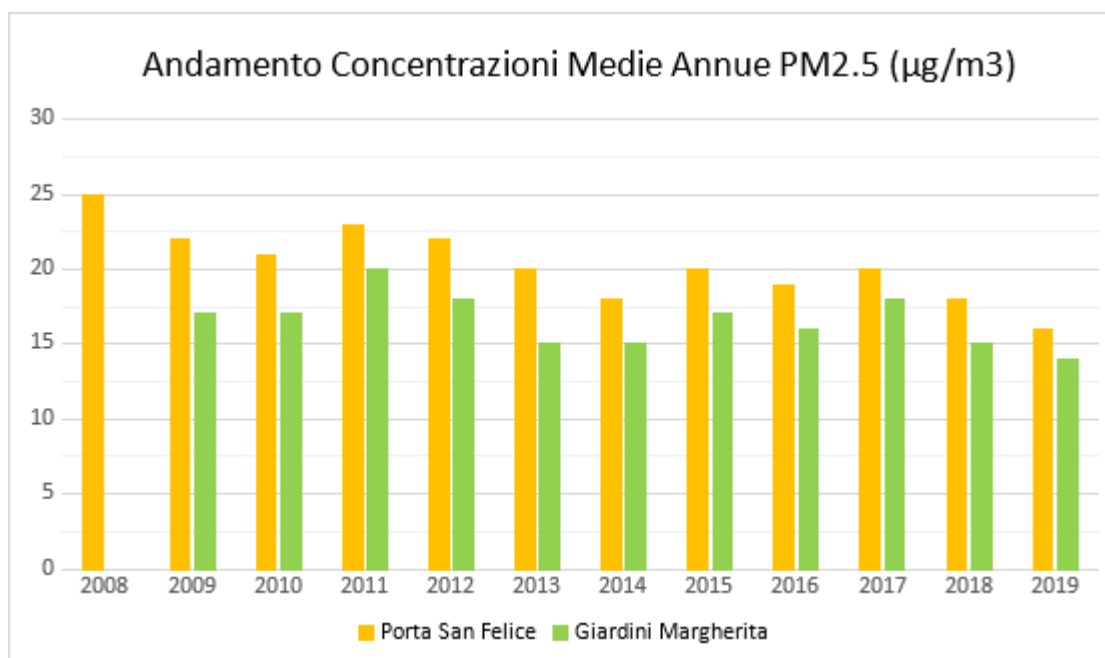
STAZIONE	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Porta San Felice	68	50	63	69	73	57	23	38	33	40	18	32
Giardini Margherita	19	20	29	42	33	10	14	23	21	27	10	23
Via Chiarini	/	/	/	40	40	18	19	25	22	35	14	31

Andamento Concentrazioni Medie Annue PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



Andamento Concentrazioni Medie Annue NO2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)





Il territorio padano è una delle zone d'Europa maggiormente inquinate dal punto di vista atmosferico. La qualità dell'aria è influenzata dalla conformazione della valle del Po, una sorta di “catino” naturale che limita la dispersione degli inquinanti emessi sul territorio. Non secondario tener conto che l'area è caratterizzata da elevata densità abitativa e forte presenza di insediamenti produttivi che determinano un notevole carico emissivo. Per ottenere risultati importanti è necessaria una strategia di intervento coordinata tra le Regioni del bacino padano, fermo restando il ruolo strategico svolto dagli enti locali nell'attuazione delle specifiche misure. In questa direzione sono state promosse diverse azioni, tra le più importanti citiamo:

- Adozione del PAIR 2020 (Piano Aria Integrato Regionale);
- Accordo di bacino padano per il miglioramento della qualità dell'aria del 09/06/2017;
- Adesione al progetto europeo prepAIR (Po Regions Engaged to Policies of Air) che mira a realizzare azioni nel bacino padano e in Slovenia, al fine di migliorare la qualità dell'aria nel rispetto della normativa europea e nazionale;
- Protocollo “Aria Pulita” di Torino del 04/06/2019, firmato da sei Ministeri (Ambiente, Economia, Sviluppo economico, Infrastrutture e Trasporti, Politiche agricole, Salute) con l'obiettivo di dare il via al Piano d'azione per il miglioramento della qualità dell'aria.

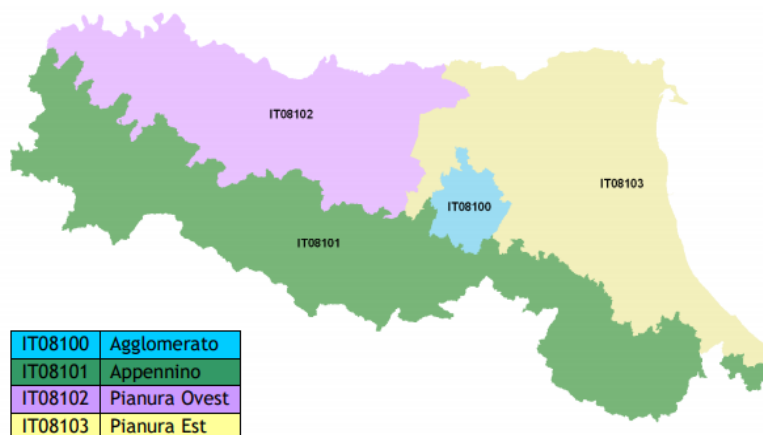
Le numerose iniziative finora adottate hanno consentito di ottenere risultati significativi, riscontrabili nel trend di diminuzione dei principali inquinanti, tuttavia non sufficienti a garantire il rispetto dei valori limite e dei valori obiettivo stabiliti dall'Unione Europea (Direttiva 2008/50/CE).

Inquinante	Limite	Periodo di mediazione	Limite	Superamenti in un anno
PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Valore limite sulle 24 ore per la protezione della salute umana	Media giornaliera	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	massimo 35
	Valore limite annuale per la protezione della salute umana	anno civile	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Valore Limite annuale per la protezione della salute umana	anno civile	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
NO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Valore limite orario per la protezione della salute umana	Media massima oraria	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	massimo 18
	Valore limite annuale per la protezione della salute umana	anno civile	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
O₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Soglia d'informazione	Media massima oraria	180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	Soglia d'allarme	Media massima oraria	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	Valore obiettivo	Media massima giornaliera calcolata su 8 ore	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	<= 25 volte/anno come media su 3 anni
	Valore obiettivo per la protezione della vegetazione	AOT40, calcolato sulla base dei valori di 1 ora da maggio a luglio	18000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ come media su 5 anni	

Il Decreto Legislativo 13 agosto 2010, n. 155 (Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa), oltre a definire i valori limite ed obiettivo di concentrazione dei singoli inquinanti, impone la suddivisione dell'intero territorio nazionale in zone e agglomerati da classificare ai fini della valutazione della qualità dell'aria ambiente.

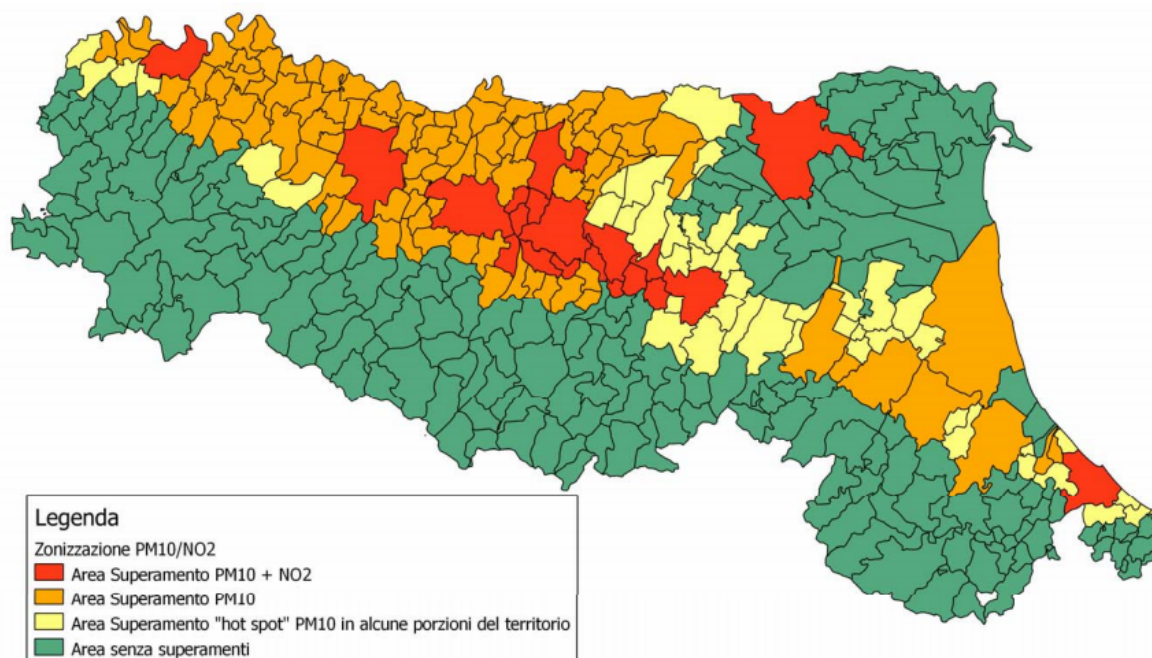
La zonizzazione ed il suo riesame in caso di variazioni sono affidati alle regioni.

La Regione Emilia-Romagna con la DGR del 27/12/2011 n. 2001 e successiva DGR del 23/12/2013 n. 1998 ripartisce e codifica il territorio regionale nella seguente maniera: un Agglomerato comprendente Bologna e comuni limitrofi, la zona Appennino, la zona Pianura Ovest e la zona Pianura Est come rappresentato in figura. Il territorio comunale di Bologna ricade interamente nella zona "Agglomerato".



Zonizzazione regionale DGR 27/12/2011 (fonte PAIR)

I dati rilevati dalla rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria hanno inoltre evidenziato in varie aree del territorio il superamento dei valori limite stabiliti dalla Direttiva 2008/50/CE, attuata con D. Lgs. 155/2010, di particolato atmosferico (PM10) e biossido di azoto (NO₂). Sulla base di tali dati sono state effettuate elaborazioni che hanno condotto all'individuazione di aree di superamento zonizzate su base comunale. Il territorio di Bologna è classificato come area a rischio superamento di PM10 e NO₂, ai sensi del DGR 344/2011.



Cartografia delle aree di superamento dei valori limite di PM10 e NO₂ (DGR 344/2011 – Allegato 2)

Nella tabella successiva sono riportate le emissioni stimate per il 2015 dei principali macroinquinanti nel Comune di Bologna, suddivise per macrosettore e derivate dall'inventario regionale INEMAR. La stima tiene conto soltanto degli inquinanti immessi direttamente in atmosfera, di origine naturale o antropica, ovvero dei cosiddetti 'inquinanti primari'. Oltre a questi in atmosfera sono presenti inquinanti di origine secondaria che si formano a partire da altre sostanze immesse, definite precursori, attraverso processi di trasformazione chimico-fisici.

Stima emissioni dei principali inquinanti per i diversi macrosettori del Comune di Bologna										
	NOx(t)	PTS (t)	PM10 (t)	PM2.5 (t)	SO2 (t)	CO2 (kt)	CO (t)	NH3 (t)	CH4 (t)	COV (t)
MS1	85,3	1,2	1,2	1,2	5,3	15,3	12,5	0,0	0,7	0,7
MS2	536,3	24,0	22,9	22,7	9,8	796,0	515,8	0,4	48,0	93,3
MS3	49,7	2,3	2,0	1,9	55,8	33,1	4,7	0,0	0,7	1,2
MS4	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MS5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3.279,5	208,2
MS6	0,0	7,2	6,0	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1.326,3
MS7	2.989,2	234,5	189,2	145,5	4,0	741,8	4.334,1	27,6	78,9	1.404,6
MS8	191,5	4,7	4,7	4,4	14,0	36,9	147,9	0,0	0,1	32,6
MS9	1,5	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,7	0,0	0,0	0,1
MS10	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	45,3	11,9	82,9
MS11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-6,7	0,0	0,0	0,0	128,0
Totali	3.855,2	273,9	225,9	179,9	89,3	1.616,3	5.015,8	73,3	3.419,8	3.277,8

Fonte: elaborazione dati INEMAR, Inventario regionale delle emissioni in atmosfera 2015, ARPAE Emilia-Romagna

MS1 - Produzione di energia e trasformazione di combustibili

MS2 - Combustione non industriale

MS3 - Combustione industriale

MS4 - Processi Produttivi

MS5 - Estrazione e distribuzione di combustibili

MS6 - Uso di solventi

MS7 - Trasporto su strada

MS8 - Altre sorgenti mobili e macchinari

MS9 - Trattamento e smaltimento rifiuti

MS10 - Agricoltura

MS11 - Altre sorgenti e assorbimenti

Le stime indicano il trasporto su strada (MS7) e il riscaldamento domestico a biomassa (MS2) come le fonti principali di emissioni legate all'inquinamento diretto da polveri. Alle emissioni di NOx, che sono importanti precursori della formazione di particolato e di ozono, contribuiscono principalmente il trasporto su strada (MS7), il riscaldamento (MS2), le altre sorgenti mobili (MS8), la produzione di energia (MS1) e la combustione nell'industria (MS3). Il principale contributo alle emissioni di NH3, anch'esso precursore di particolato secondario, deriva dalle pratiche agricole e dalla zootecnia (MS10) e trasporto su strada (MS7).

La combustione nell'industria (MS3) e le altre sorgenti mobili (MS8) risultano la fonte più rilevante di SO2, importante precursore della formazione di particolato secondario, anche a basse concentrazioni. Il CO è emesso dai trasporti su strada (MS7) e dalla combustione domestica (MS2).

Il Piano Aria Integrato Regionale (PAIR) rappresenta la base conoscitiva per caratterizzare lo stato di qualità dell'aria del territorio comunale. Il PAIR 2020, approvato dall'Assemblea legislativa della Regione Emilia-Romagna l'11 aprile 2017 (delibera n.115), ha quale orizzonte temporale strategico di riferimento il 2020 e prevede 94 misure per il risanamento della qualità dell'aria al fine di ridurre i livelli degli inquinanti sul territorio regionale e rientrare nei valori limite fissati dalla Direttiva 2008/50/CE e dal D.Lgs. 155/2010. L'obiettivo è la riduzione delle emissioni, rispetto al 2010, del 47% per le polveri sottili (PM10), del 36% per gli ossidi di azoto, del 27% per ammoniaca e composti organici volatili, del

7% per l'anidride solforosa e di conseguenza portare la popolazione esposta al rischio di superamento dei valori limite di PM10 dal 64% del 2010 all'1% nel 2020.

Le misure contenute nel PAIR mirano a ridurre l'esposizione all'inquinamento e sono articolate in ambiti di intervento principali: le città, la pianificazione e l'utilizzo del territorio, la mobilità, l'energia, le attività produttive e l'agricoltura. Nel periodo 01/10-31/03, il PAIR prevede inoltre l'attivazione di misure anti-smog riguardanti la circolazione dei veicoli più inquinanti nei centri abitati, la regolamentazione della temperatura interna degli edifici, il divieto di accensione di alcune categorie di impianti alimentati a biomasse ed ulteriori prescrizioni che saranno oggetto di possibili revisioni nel tempo. Misure "emergenziali" più restrittive vigono in caso di superamento continuativo delle concentrazioni limite di PM10. Maggiori dettagli sono contenuti nel bollettino emesso da Arpae nelle giornate di lunedì e giovedì.



Aria e rumore, inquinamento acustico

Classificazione acustica comunale

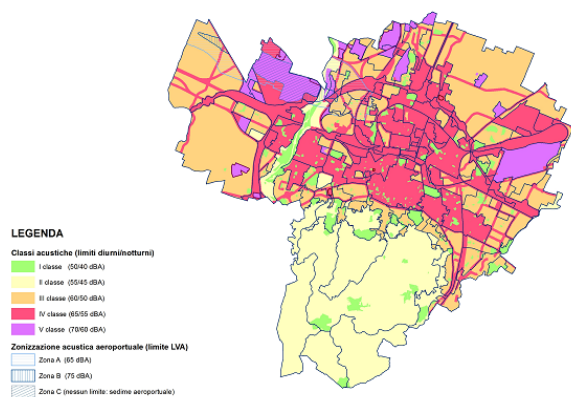
La Classificazione acustica del territorio comunale rappresenta uno degli strumenti di governo del territorio individuati dalla legislazione per la tutela dell'ambiente esterno e dell'ambiente abitativo dall'inquinamento acustico. Il Comune di Bologna si è dotato di tale strumento fin dal 1999 (OdG 98/99), adeguandolo costantemente sulla base degli aggiornamenti normativi via via emanati dal Legislatore; la vigente Classificazione acustica è stata approvata con OdG 336/2015.

La finalità della Classificazione acustica è quella di perseguire un miglioramento della qualità acustica delle aree urbane e di tutti gli spazi in genere, determinando un coordinamento tra gli strumenti urbanistici e territoriali di cui le amministrazioni si sono dotate sia relativamente all'uso reale del territorio, sia rispetto alle previsioni di piano. La Classificazione ha quindi anche la funzione di coordinare gli interventi sul territorio per consentire il raggiungimento di una sempre maggiore tutela dall'inquinamento acustico. Attraverso la suddivisione del territorio comunale nelle prime cinque classi acustiche definite dal DPCM 14.11.1997, all'interno delle quali sono stabiliti i limiti di rumorosità in funzione delle rispettive destinazioni d'uso presenti sul territorio, la Classificazione acustica consente:

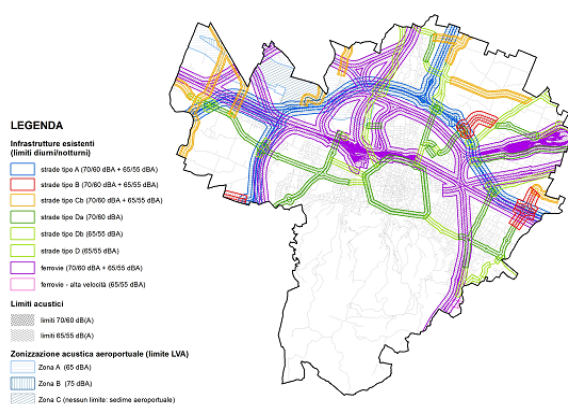
- di stabilire, per le aree attualmente edificate, i limiti che devono essere rispettati al fine di garantire un adeguato livello di benessere acustico permettendo, con l'ausilio della Mappa acustica strategica (predisposta ai sensi del DLgs 194/05), l'individuazione delle aree caratterizzate da una situazione di criticità acustica sulle quali intervenire mediante il Piano d'azione dell'Agglomerato di Bologna;
- di garantire, per i nuovi interventi edilizi, una corretta progettazione degli edifici e delle eventuali opere di mitigazione acustica finalizzate al rispetto di limiti che, in funzione delle destinazioni d'uso previste, assumono livelli più restrittivi in relazione agli usi più sensibili;
- di garantire una corretta pianificazione delle aree oggetto di trasformazione, evitando così l'insorgenza di criticità acustiche.

Quanto sopra evidenzia l'importanza che assume la Classificazione acustica nella pianificazione e nella gestione del territorio e come le tematiche legate al clima acustico debbano essere tenute in debita considerazione nell'elaborazione dei piani e degli strumenti di governo del territorio di competenza dell'Amministrazione comunale, al fine di garantire il raggiungimento di adeguati livelli di sostenibilità ambientale.

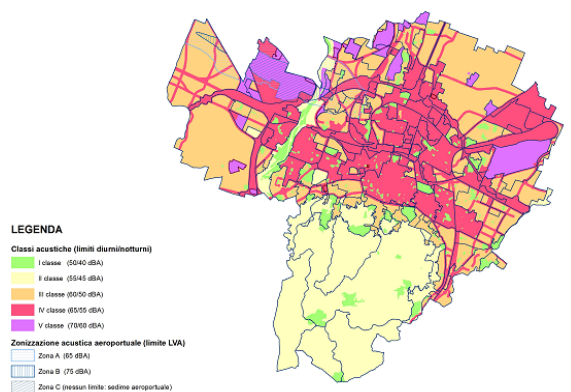
La Classificazione acustica, oltre a suddividere il territorio comunale nelle classi definite dalla normativa nazionale, individua le fasce di pertinenza acustica infrastrutturali (stabilite dai decreti attuativi della Legge quadro 447/95). Così come richiesto dalla DGR 2053/01, la tavola della classificazione acustica e la tavola delle infrastrutture sono riferite allo stato attuale e allo scenario futuro.



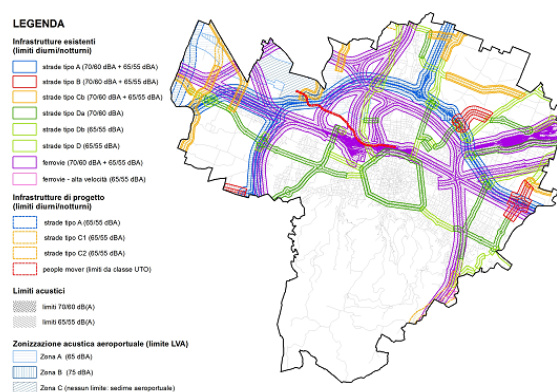
Classi acustiche (stato attuale)



Fasce di pertinenza acustica infrastrutturali (stato attuale)



Classi acustiche (stato futuro)



Fasce di pertinenza acustica infrastrutturali (stato futuro)

Fanno inoltre parte della Classificazione acustica le Norme tecniche di attuazione, che costituiscono lo strumento normativo con cui si esplicitano prescrizioni, adempimenti e requisiti atti a conseguire gli obiettivi assunti con il Piano. Esse definiscono, in base alla tipologia di intervento, i limiti che devono essere rispettati e la documentazione da allegare alla presentazione del progetto. Le Norme della Classificazione acustica hanno introdotto principi di tutela maggiori rispetto a quanto già contenuto nelle norme nazionali, richiedendo il rispetto di limiti più restrittivi per gli ambiti per i nuovi insediamenti o quelli di sostituzione individuati dal PSC.

Nel corso del perfezionamento del PUG, la zonizzazione acustica verrà rielaborata in coerenza per garantire la coerenza formale con il Piano ai sensi della LR. 24/2017.

Mappatura acustica e Piano d'azione dell'Agglomerato di Bologna

Il DLgs 194/05 "Attuazione della Direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione ed alla gestione del rumore ambientale" introduce l'obbligo di elaborare la Mappa acustica strategica degli agglomerati urbani sulla base di nuovi indicatori acustici stabiliti dalla Comunità Europea (Lden: livello

giorno/sera/notte - Lnight: livello notturno) e di predisporre il Piano d'azione. La Mappa acustica strategica ha lo scopo di rappresentare la distribuzione dei livelli di rumore Lden e Lnight sul territorio per effetto di tutte le sorgenti sonore in esso presenti (strade, ferrovie, aeroporti, ecc.). Sulla base degli esiti della Mappa, l'Agglomerato predispone il Piano d'azione, nell'ambito del quale sono individuati gli interventi e le azioni orientati ad evitare e ridurre il rumore ambientale. L'Agglomerato di Bologna è stato individuato dalla Regione Emilia-Romagna nell'area che inviluppa i territori dei comuni di Bologna, Casalecchio di Reno, Calderara di Reno, Castel Maggiore e San Lazzaro di Savena. Sempre la Regione ha individuato il Comune di Bologna come autorità competente per l'Agglomerato.

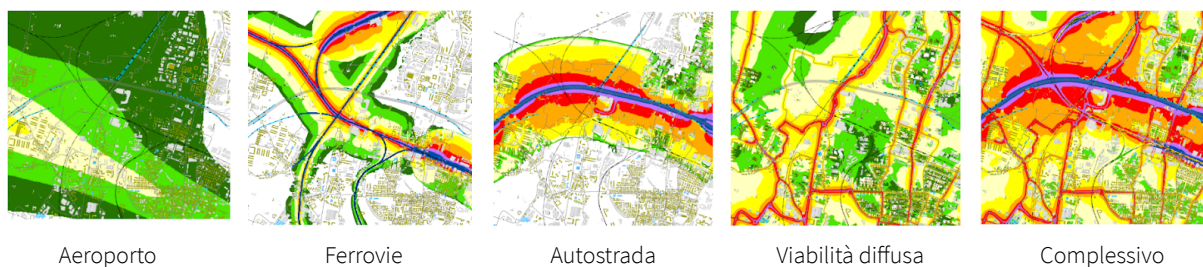


Agglomerato di Bologna

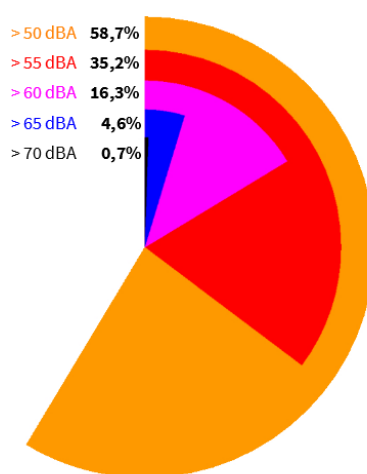
Mappa acustica strategica e Piano d'azione devono essere aggiornati ogni 5 anni: la Mappa acustica strategica dell'Agglomerato è stata approvata da ciascun Comune facente parte dell'Agglomerato di Bologna nel corso del 2017 e, come richiesto dal Decreto, è stata successivamente inviata dal Comune di Bologna (in qualità di autorità competente) alla Regione. Il Piano d'azione è stato approvato, da ciascun Comune dell'Agglomerato, nel corso del 2018 ed è stato trasmesso alla Regione Emilia-Romagna per il seguito di competenza.

Come richiesto dalla normativa, nella Mappa acustica strategica sono state considerate tutte le sorgenti infrastrutturali presenti sul territorio, simulando il rumore delle sorgenti stradali di pertinenza di Società Autostrade per l'Italia ed ANAS (A1-A13-A14), le strade provinciali con flussi di traffico maggiore di 3.000.000 veicoli/anno (SP3, SP7, SP18, SP36, SP253, SP568, SP569), le strade non principali, le sorgenti ferroviarie di pertinenza RFI (linee BO-VE, BO-MI, BO-VR, BO-FI, BO-AN, BO-PT, Scalo merci ferroviario San Donato) nonché la sorgente aeroportuale (Aeroporto G. Marconi).

Sebbene la Mappa ed il Piano siano elaborati secondo i parametri europei, tuttora non recepiti dallo Stato italiano, essi forniscono un utile quadro della situazione del clima acustico sul territorio.



Prendendo a riferimento il parametro L_{night} , l'unico che trova una corrispondenza con la normativa nazionale, si rileva che - a livello di Agglomerato e considerando il contributo complessivo di tutte le infrastrutture - il 35% della popolazione è esposta a livelli di rumore superiori a 55 dBA (limite attribuito alle aree di intensa attività umana), mentre il 16% è esposto a valori superiori a 60 dBA (limite assegnato alle aree prevalentemente industriali o in adiacenza alle grandi infrastrutture di trasporto).



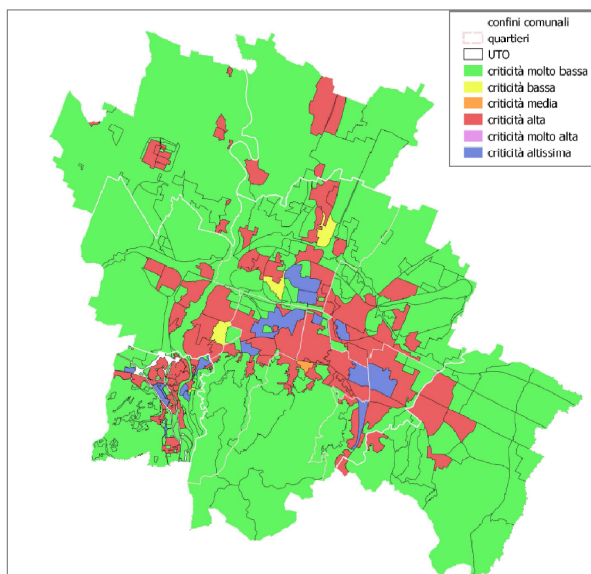
Percentuale popolazione esposta a livelli notturni

Entrando nel dettaglio delle specifiche tipologie di infrastrutture, la viabilità diffusa risulta essere predominante tra le fonti di inquinamento acustico, proprio in ragione della capillarità di tale sorgente sul territorio. Le grandi infrastrutture, concentrate lungo specifiche direttrici, percentualmente interessano meno popolazione. Relativamente alle ferrovie è utile evidenziare come, nonostante le aree interessate siano territorialmente meno estese, la popolazione esposta ai livelli più alti (> 70 dBA notturni) è uguale a quella della viabilità diffusa sul territorio dell'Agglomerato, questo sia perché le linee ferroviarie si sviluppano nel cuore della città, sia perché le emissioni acustiche sono particolarmente elevate. Il Piano d'azione ha valutato, partendo dalle informazioni riportate nella Mappa, le aree che in riferimento al rumore indotto dalle strade di competenza comunale, sono più critiche¹. Al Comune di Bologna infatti spetta il risanamento delle strade di propria competenza, mentre quello delle altre infrastrutture è dovuto ai rispettivi gestori. Dall'analisi delle criticità a livello di Agglomerato è emersa una serie di aree con priorità "altissima", concentrate nei territori comunali di

¹ Per l'individuazione e gerarchizzazione delle criticità acustiche indotte dal traffico stradale è stato considerato il parametro ECUden, il quale tiene conto del livello assoluto di rumore calcolato nel punto di maggiore esposizione del singolo edificio, il numero di residenti all'interno dello stesso e la sua destinazione d'uso.

Poiché tale parametro non considera il superamento o meno dei limiti di rumore individuati dalle Classificazioni acustiche comunali, per la gerarchizzazione delle criticità è stato considerato anche il superamento dei limiti di rumore.

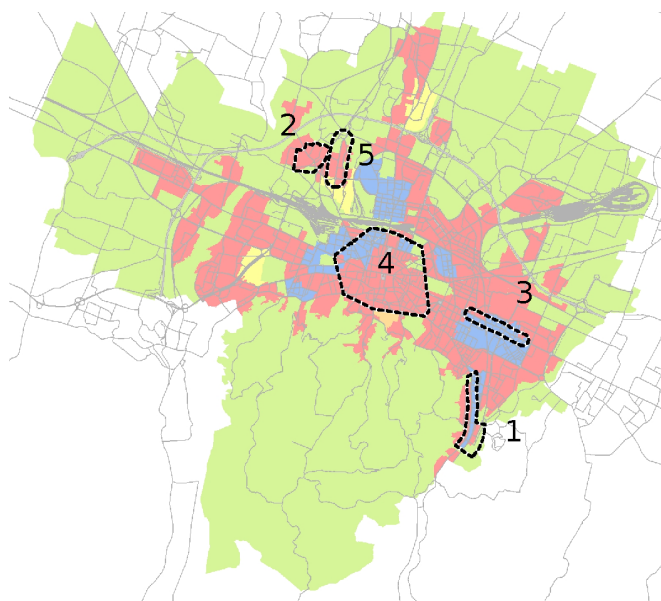
Bologna e Casalecchio di Reno. Nei rimanenti comuni le aree maggiormente critiche non superano un indice di priorità “molto alta”.



Gerarchizzazione delle criticità in termini di popolazione esposta al rumore

La gerarchizzazione delle criticità ha consentito di individuare le aree prioritarie su cui concentrare le azioni del Piano. Dall'analisi delle criticità a livello di Agglomerato, nonché in base alla conoscenza da parte delle rispettive Amministrazioni del territorio e delle potenziali azioni da mettere in atto, sono state individuate 5 aree di intervento nel Comune di Bologna, 2 nel Comune di Casalecchio di Reno, 1 nel Comune di Calderara di Reno, 1 nel Comune di Castel Maggiore ed 1 nel Comune di San Lazzaro di Savena. Per ognuna di esse sono stati valutati i benefici acustici connessi alla realizzazione di specifici interventi già approvati o che saranno messi in campo da altri strumenti di pianificazione. Entrando nello specifico del Comune di Bologna, nel Piano sono stati considerati i seguenti interventi:

1. nuova strada SP65 della Futa
2. nuova Roveretolo
3. filoviarizzazione TPL via Emilia Levante
4. riduzione traffico in accesso al centro (PUMS)
5. rifacimento manto stradale via Marco Polo

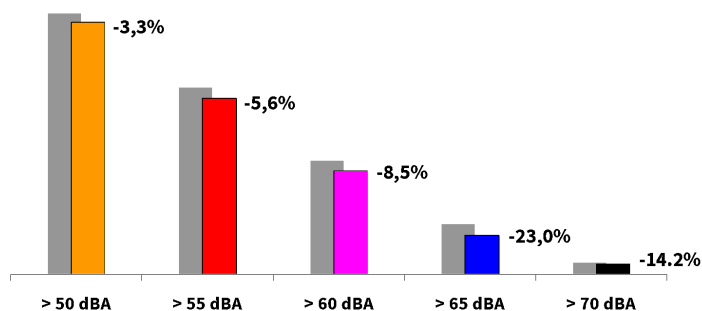


Aree individuate dal Piano d'azione sul territorio comunale di Bologna

Di seguito sono descritti, per completezza, gli interventi considerati dal Piano per gli altri Comuni dell'Agglomerato:

- Comune di Calderara di Reno: gestione del traffico nella frazione di Longara, prevedendo il limite di velocità di 30 Km/h dove non già prescritta e l'inserimento di dossi rallentatori rialzati sugli attraversamenti pedonali e/o sugli incroci;
- Comune di Casalecchio di Reno: strada Nuova Porrettana, la cui realizzazione andrà a scaricare il centro abitato di Casalecchio nei due ambiti analizzati (via Calzavecchio, via Resistenza);
- Comune di Castel Maggiore: strada Nuova Galliera, che nasce già mitigata e che andrà a scaricare via Vancini, viale della Costituzione e via Bondanello;
- Comune di San Lazzaro di Savena: gestione del traffico nel capoluogo, considerando la riduzione della velocità a 30 km/h su via della Repubblica e 2 scenari di riduzione del traffico privato su via Emilia (riduzione del 20% e del 40%).

Per ciascuno degli interventi sopra descritti è stata condotta una simulazione, calcolando il beneficio derivante dall'intervento in termini di riduzione della popolazione esposta al rumore. Nel grafico è sintetizzata, a livello di Agglomerato (quindi considerando sia i 5 interventi su Bologna, sia i 5 sui rimanenti Comuni), la percentuale di riduzione della popolazione esposta alle diverse fasce di rumore in periodo notturno (Lnight).



Riduzione del rumore notturno nelle 10 aree di intervento dell'Agglomerato di Bologna

Rumore aeroportuale, autostradale, ferroviario, stradale

Rumore aeroportuale

Il rumore aeroportuale è disciplinato dal DMA 31.10.1997, il quale definisce il parametro acustico e le modalità per misurare il rumore aeroportuale (ossia l'indice LVA), nonché i valori limite che devono essere rispettati sul territorio in funzione della zonizzazione acustica aeroportuale.

L'indice LVA è un parametro che viene calcolato come valore medio di rumore registrato nelle 3 settimane (una settimana per ciascun quadrimestre) con il più elevato volume di movimenti aerei, penalizzando il rumore indotto dai sorvoli notturni² di 10 dBA. Si tratta pertanto di un parametro che, ai fini del confronto con i limiti normativi, viene calcolato di anno in anno.

L'indice LVA deve essere confrontato con i limiti fissati dalla zonizzazione acustica aeroportuale costituita dalle seguenti 3 zone:

- zona A, in cui l'indice LVA non può superare i 65 dBA;
- zona B, in cui l'indice LVA non può superare il valore di 75 dBA;
- zona C, in cui non sono previste limitazioni all'indice LVA in quanto riferita ad aree di esclusiva pertinenza dell'infrastruttura aeroportuale.

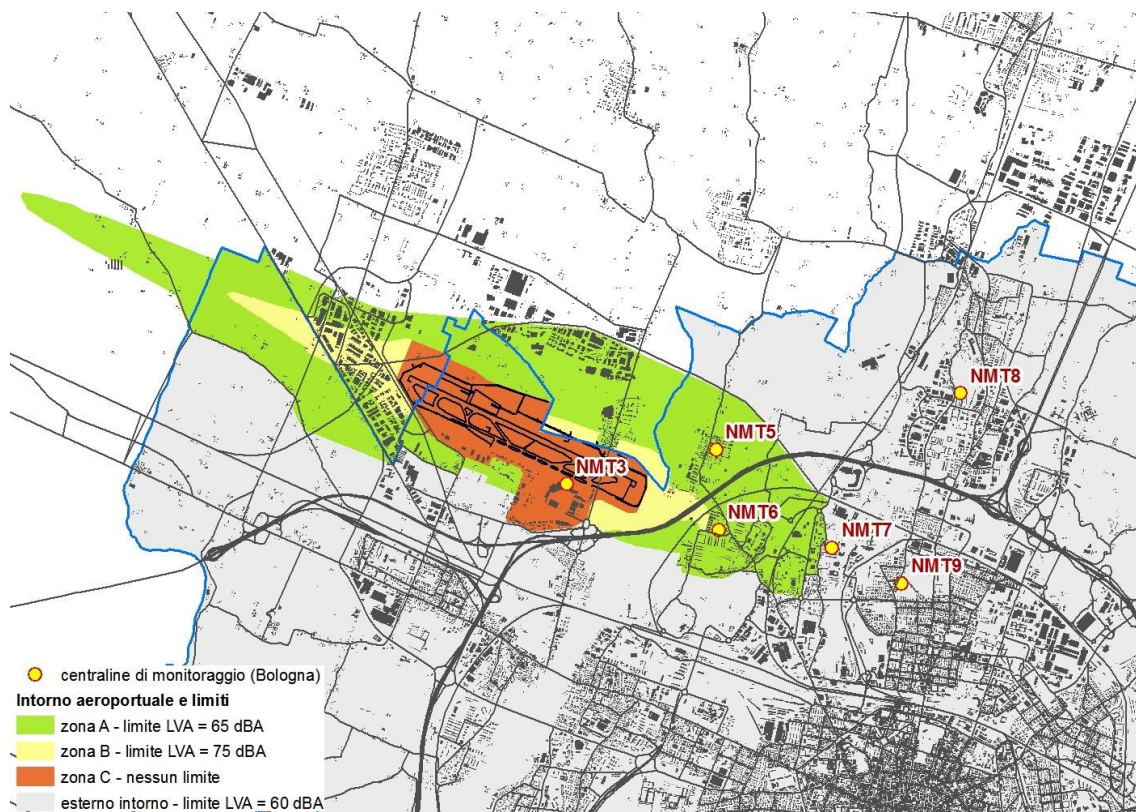
All'esterno di tali zone l'indice LVA non può superare il valore di 60 dBA.

La zonizzazione acustica aeroportuale è stata definita dalla Commissione aeroportuale (istituita ai sensi del DMA 31.10.1997) presieduta da Enac (Ente Nazionale per l'Aviazione Civile) ed alla quale partecipano: Enav (Ente Nazionale di Assistenza al Volo), Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM), rappresentante dei vettori aerei, Società Aeroporto di Bologna (AdB), Arpae, Enti territoriali (Regione Emilia-Romagna e Comuni interessati). La zonizzazione acustica per l'aeroporto G. Marconi è stata recepita nel 2003 con la variante grafica e normativa al PRG'85 del Comune di Bologna stabilendo, a maggiore tutela della popolazione, il divieto di "insediamento di nuove abitazioni all'interno di tali zone, anche mediante il solo cambio di destinazione d'uso senza opere edilizie oltre agli interventi di natura più sostanziale, a partire dalle nuove costruzioni".

Dal 2003, il vincolo è confermato e ribadito negli strumenti di pianificazione comunali approvati successivamente, precisando che "non sono consentiti nuovi insediamenti o espansioni degli insediamenti esistenti né cambi di destinazione d'uso verso funzioni non compatibili, e in ogni caso verso la residenza."

Il rispetto dei limiti di rumore dovuto ai sorvoli aerei è costantemente monitorato da una rete di centraline integrate con le tracce radar degli aerei, presente fin dal 2001 nei Comuni di Bologna e Calderara di Reno. Dai dati rilevati dal sistema di monitoraggio e dalle elaborazioni modellistiche, nel corso degli anni è stato sempre dimostrato il rispetto dei limiti di rumore in riferimento alle aree della zonizzazione acustica.

² Il periodo notturno è individuato, dal decreto, nella fascia oraria compresa nell'intervallo 23:00-6:00.



Intorno aeroportuale (zone A, B, C) e ubicazione delle centraline di monitoraggio aeroportuale nel Comune di Bologna

Nella tabella sono riportati i valori LVA annuali rilevati presso le centraline presenti nel Comune di Bologna, confrontati con i limiti normativi; si può verificare come tale infrastruttura rispetti i limiti definiti dalla normativa nazionale, pur a fronte di un costante incremento di passeggeri e movimenti aerei.

Livelli di rumore rilevati dalle centraline di monitoraggio del rumore aeroportuale

Centralina	limite	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
5	65	53,6	54,7	54,6	52,9	54,5	55,7	55,6
6	65	62,4	61,2	62,7	62,2	62,4	63,0	62,1
7	60	56,5	54,8	55,1	54,2	54,2	55,3	54,5
8	60	51,4	51,4	51,7	50,5	51,3	53,5	52,6

Nonostante i limiti di rumore risultino rispettati, il rumore aereo è percepito dalla popolazione come molto disturbante. Ciò si verifica soprattutto lungo le rotte di decollo e di atterraggio e maggiormente durante il periodo notturno e nelle prime ore del mattino. Il problema è inoltre acuito dalla frequenza con cui avvengono tali eventi che, in determinate frangenti, sono costituiti da numerosi movimenti temporalmente ravvicinati.

La mappa sottostante riporta l'inviluppo delle rotte nominali dei decolli aerei verso Bologna in cui sono state evidenziate quelle che, pur avvenendo nel rispetto delle procedure di decollo dettate da Enac, comportano disagio sulla popolazione interessata. Nella tavola non sono state evidenziate quelle rotte che rappresentano i casi di presunta violazione delle procedure di decollo anti-rumore, che richiedono pertanto un accertamento da parte degli enti preposti (Enac, Enav) sulla loro effettiva

inosservanza o se sono state motivate da questioni di sicurezza. Ad ogni si tratta di una percentuale trascurabile dei decolli sulla totalità delle rotte indicate in tavola (circa il 3% nel 2018).



Rotte nominali di decollo

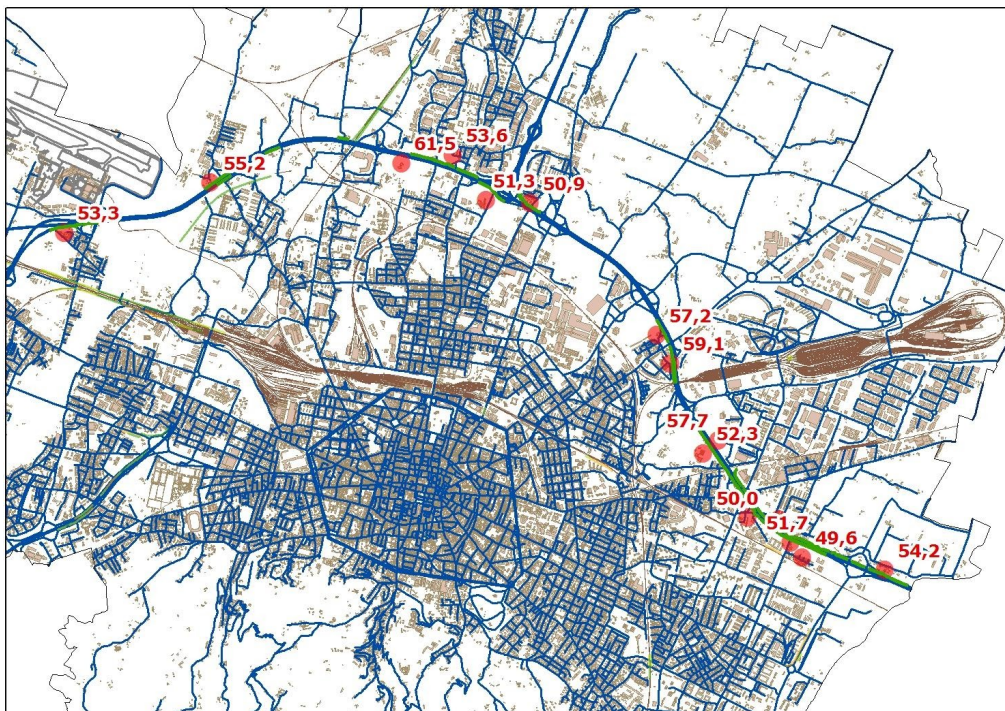
Rumore autostradale

Dal punto di vista normativo, le infrastrutture stradali sono disciplinate dal DPR 142/04 “*Disposizioni per il contenimento e la prevenzione dell'inquinamento acustico derivante dal traffico veicolare, a norma dell'articolo 11 della L. 26 ottobre 1995, n. 447*”. Tale decreto individua una fascia territoriale di pertinenza dell'infrastruttura autostradale che è suddivisa nelle seguenti parti:

- fascia A, più vicina all'infrastruttura e larga 100 m, con limiti di 70 dBA diurni e 60 dBA notturni;
- fascia B, esterna alla precedente ed ampia 150 m, con limiti di 65 dBA diurni e 55 dBA notturni.

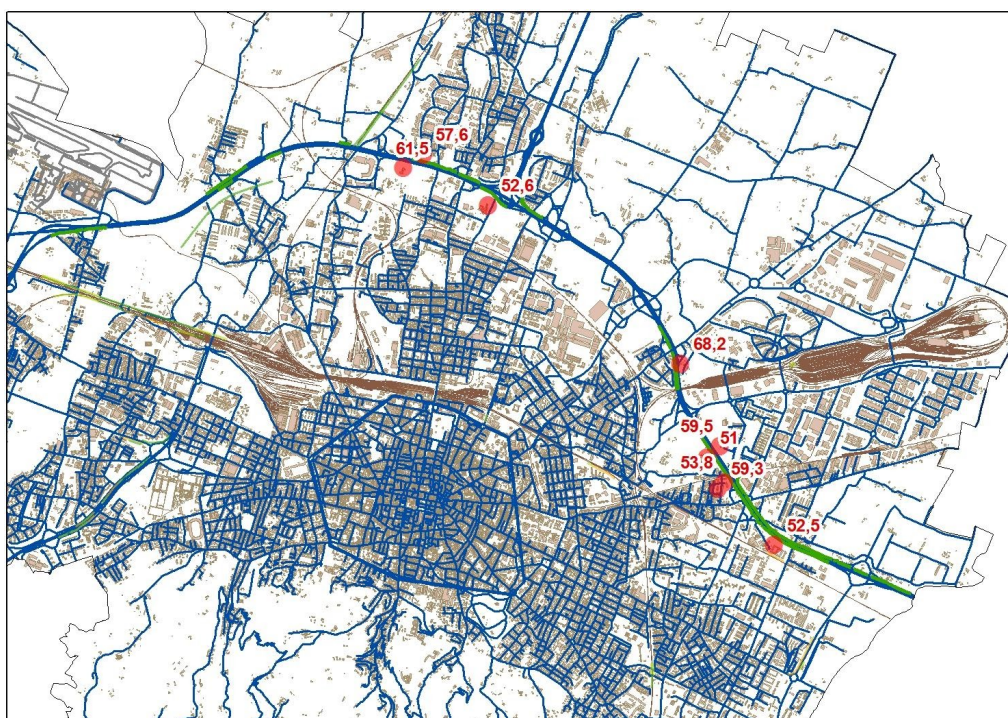
Le misure condotte in prossimità del sistema autostrada/tangenziale evidenziano, per la parti in cui non sono state mitigate dalle barriere acustiche, delle situazioni di superamento dei limiti.

Di contro, dagli esiti del collaudo acustico condotto da Società Autostrade nel 2008 a valle dei lavori per la realizzazione della terza corsia dinamica, si ravvisa che le barriere realizzate hanno portato al conseguimento di un clima acustico a norma con i limiti sopra descritti e sostanzialmente rispettosi anche dei valori più restrittivi che ci si era prefissati.



Livelli di rumore rilevati da Società Autostrade nel 2009 (livelli notturni)

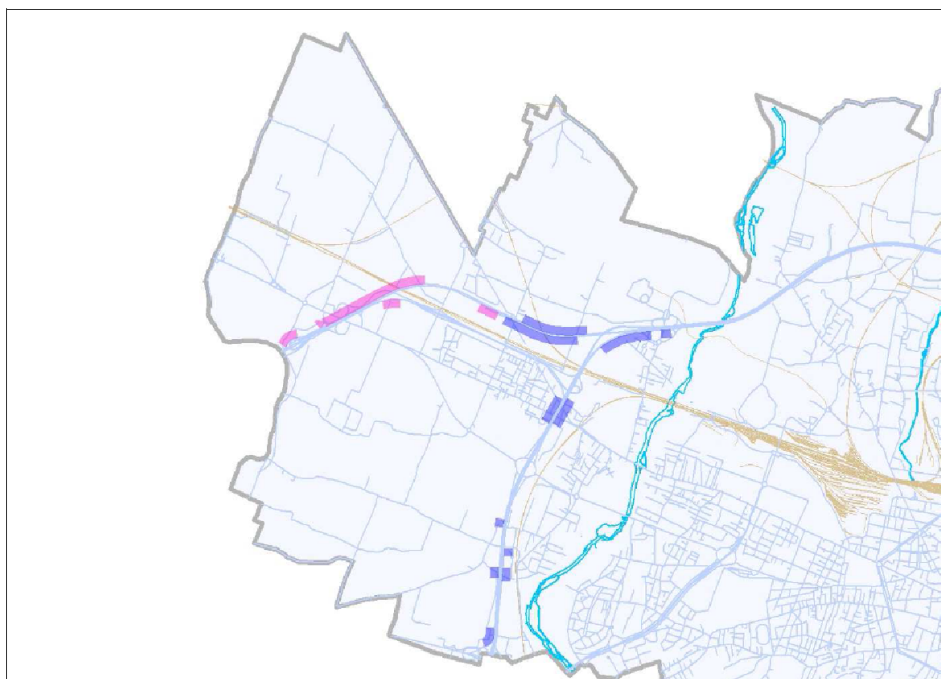
Le successive misure effettuate nel 2016 in occasione degli studi di accompagnamento al progetto di ampliamento del sistema autostrada-tangenziale, confermano tale situazione, ossia il sostanziale rispetto dei limiti laddove sono state predisposte le mitigazioni acustiche, ed una situazione di superamento in campo aperto.



Livelli di rumore rilevati da Società Autostrade nel 2016 (livelli notturni)

Nell'ambito del proprio Piano di risanamento acustico nazionale, predisposto in ottemperanza del DMA 29.11.2000, Società Autostrade per l'Italia ha previsto la bonifica progressiva della propria rete infrastrutturale su un arco temporale di 15 anni. Il Piano di Società Autostrade è stato approvato in due fasi distinte: nel 2011 è stato approvato il primo stralcio degli interventi, mentre nel giugno 2017 sono stati approvati i rimanenti due stralci del Piano.

Per quanto riguarda il secondo stralcio degli interventi, Autostrade ha presentato ai Comuni interessati il progetto acustico delle barriere che, relativamente a Bologna, interessano l'infrastruttura autostradale presente nel quadrante ovest del Comune (individuate dal Piano come macro-interventi 89-90).



Barriere dei macro-interventi 89-90 (Piano di risanamento acustico Società Autostrade)

Il Piano presentato riguarda solo il quadrante ovest del territorio comunale in quanto nel 2006, a seguito della realizzazione della "terza corsia dinamica", sono state poste in atto le barriere acustiche a mitigazione del tratto che va da Borgo Panigale al confine con il Comune di San Lazzaro di Savena.

Nel corso del 2018 si sono positivamente concluse, da parte del competente Ministero dell'Ambiente e della Tutela del territorio e del mare, le procedure di VIA inerenti i progetti di ampliamento dell'autostrada A13 Bologna-Padova (nella tratta compresa tra Ferrara e Bologna) e dell'autostrada A14 Bologna-Taranto (nella tratta compresa tra lo svincolo 4 ed il Comune di San Lazzaro di Savena). Negli studi di impatto ambientali (SIA) presentati nell'ambito di tali procedure è stata analizzata anche la matrice rumore, andando a dimensionare le barriere acustiche finalizzate a garantire non solo il rispetto dei limiti normativi, ma anche il mantenimento del clima acustico attuale (laddove più basso dei limiti) per le aree già mitigate dalle barriere realizzate nell'ambito del progetto della terza corsia dinamica. Nel loro insieme, i macro-interventi 89-90 e quelli progettati per gli ampliamenti dell'A13 e A14, prevedono la mitigazione dell'intera rete autostradale sul territorio comunale, ma è importante precisare che dei loro effetti se ne può tenere conto solamente a realizzazione avvenuta, in quanto i ritardi e le revisioni progettuali sono sempre stati numerosi nel corso di questi anni e quanto rappresentato nella tavola. Sopra riportata potrebbe subire modifiche.

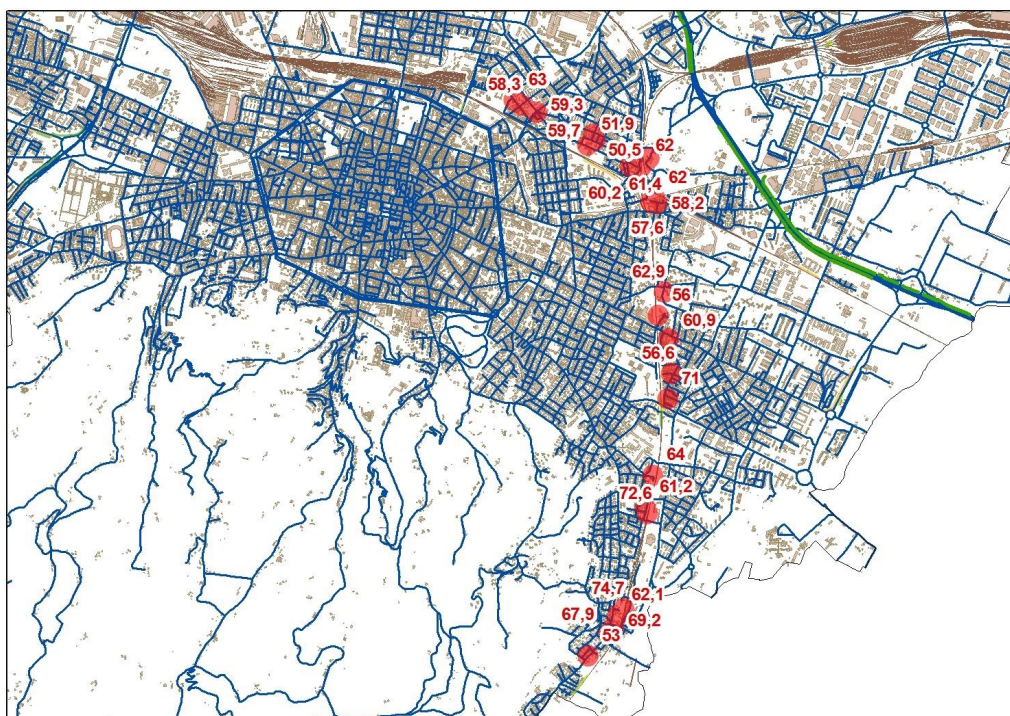
Rumore ferroviario

Le infrastrutture ferroviarie sono disciplinate dal DPR 459/98 "Regolamento recante norme di esecuzione dell'articolo 11 della Legge del 26 ottobre 1995, n.447, in materia di inquinamento acustico derivante da traffico ferroviario" che individua una fascia territoriale di pertinenza dell'infrastruttura ferroviaria che, per le linee esistenti, è suddivisa nelle seguenti parti:

- fascia A, più vicina ai binari e larga 100 m, con limiti di 70 dBA diurni e 60 dBA notturni;
- fascia B, esterna alla precedente ed ampia 150 m, con limiti di 65 dBA diurni e 55 dBA notturni.

Le infrastrutture ferroviarie sono state oggetto di ripetute campagne di misure, le prime delle quali attivate dal Comune di Bologna nel 2000, rilevando una situazione di significativo superamento dei limiti normativi, soprattutto in periodo notturno (interessato anche dal transito dei treni merci).

Negli anni successivi le misure sono state aggiornate, arrivando ai rilievi più recenti condotti da RFI nel corso del 2017 lungo la direttrice per Firenze. Anche queste ultime misure confermano una diffusa situazione di inquinamento acustico indotto dal transito dei treni, anche se si può constatare, rispetto ai valori rilevati da Arpa nel 2000, una diminuzione nell'entità dei superamenti.

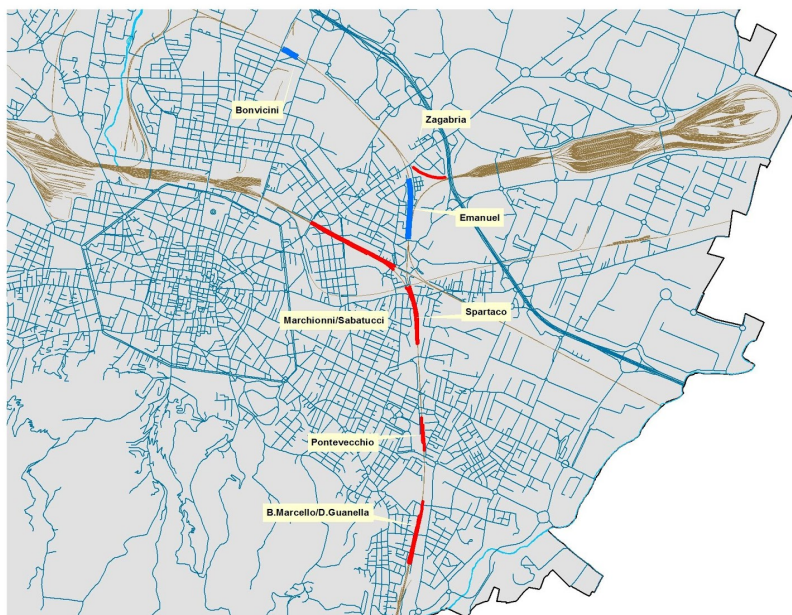


Livelli di rumore rilevati da RFI nel 2017 (livelli notturni)

In ottemperanza al DM 29.11.2000 che disciplina il risanamento acustico delle infrastrutture di trasporto, nel 2004 RFI ha presentato il proprio Piano di risanamento alla competente Conferenza unificata Stato-Regioni, acquisendo da quest'ultima, nel corso dello stesso anno, l'intesa sugli interventi pianificati nei primi 4 anni. Nell'ambito delle competenze riconosciute dal DMA 29.11.2000, la Regione Emilia-Romagna ha ridefinito (in accordo con il Comune di Bologna) le priorità delle barriere acustiche a favore di quelle progettate da RFI nell'ambito di un precedente Protocollo d'intesa del 2001 (sottoscritto tra Regione Emilia-Romagna, Provincia di Bologna, Comune di Bologna, Arpa e RFI).

Queste ultime, infatti, avevano già raggiunto un livello di progettazione definitivo/esecutivo (acquisendo, tra l'altro, la conformità urbanistica ed i pareri favorevoli da parte dei Quartieri e della CQAP), quindi con un dettaglio più avanzato rispetto a quello del Piano (fermo a una progettazione preliminare). Con i fondi stanziati per il primo quadriennio approvato dalla Conferenza unificata sono

stati realizzati 2 degli 8 interventi previsti dal Protocollo (siti di via Bonvicini e via Emanuel). I rimanenti interventi del Protocollo, così come gli altri interventi previsti dal Piano di RFI, saranno attuati a seguito dello sblocco dei finanziamenti che avverrà con l'approvazione dei successivi stralci del Piano da parte della Conferenza unificata Stato-Regioni. Al riguardo, nel novembre 2009 RFI ha presentato alla Conferenza unificata il secondo stralcio del Piano, ossia quello relativo agli interventi pianificati dal quinto anno, sul quale la Conferenza unificata non ha ancora raggiunto un accordo per l'Intesa.



Barriere acustiche previste dal Protocollo d'intesa del 2001



Barriere acustiche previste dal Piano di RFI

Nel corso del 2016, pur in assenza dell'approvazione del secondo stralcio del Piano da parte della Conferenza unificata, RFI ha inviato al Comune di Bologna il progetto definitivo delle barriere acustiche lungo la linea ferroviaria BO-FI e BO-AN, richiedendone la conformità urbanistica. Con tale progetto le

barriere acustiche sono state affinate sulla base di una specifica campagna di misure condotte nel 2016 presso 16 diverse postazioni fonometriche collocate lungo la linea ferroviaria ed in corrispondenza degli edifici ad essa prospicienti (vedi cartografia precedente). Le misure svolte da RFI confermano una situazione di superamento dei limiti, sebbene di entità inferiore rispetto a quanto rilevato da Arpa nel 2000, confermando i dati registrati in una precedente campagna di monitoraggio acustico eseguita nel 2015 da Italcertiferr su richiesta del Comune di Bologna. Come già espresso per le mitigazioni acustiche a carico di Società Autostrade, anche per le barriere di RFI non si ha certezza dei tempi di realizzazione, né del loro definitivo dimensionamento, pertanto non possono essere considerate come elemento utile a definire il clima acustico di zona finché non saranno realizzate.

Rumore stradale

Come sopra anticipato, la viabilità stradale risulta essere la sorgente infrastrutturale più impattante in termini di esposizione al rumore della popolazione. Nella mappa acustica elaborata per l'Agglomerato di Bologna in cui è stata rappresentata la propagazione del rumore indotto dalla viabilità locale (il sistema autostrada/tangenziale, essendo di competenza di altri enti gestori, è stato rappresentato in una specifica tavola), risulta evidente come il territorio sia attraversato da numerose strade che determinano un impatto significativo sulla popolazione.

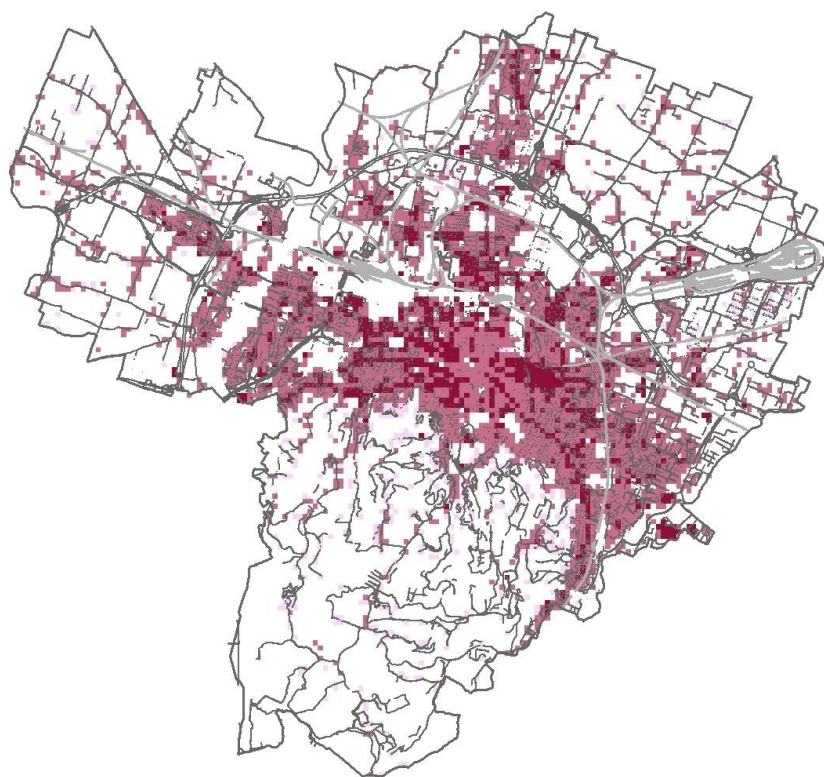


Livello di rumore notturno (L_{night}) indotto dalla viabilità locale (Mappa acustica strategica Agglomerato di Bologna)

La mappa risulta più significativa per la rappresentazione della propagazione del rumore in campo aperto piuttosto che dell'impatto in termini di popolazione esposta. E ciò si verifica maggiormente nelle aree più densamente urbanizzate, laddove il rumore risulta "contenuto" all'interno dello spazio creato dal fronte degli edifici prospicienti le strade.

Una lettura più rappresentativa può essere offerta dalle elaborazioni condotte sulla Mappa acustica strategica dell'Agglomerato di Bologna, anche se tale strumento, in ragione del margine di tolleranza insito in una modellazione a scala di Agglomerato, non fornisce indicazioni precise dei livelli di rumore attesi sul singolo edificio, ma comunque rappresenta un utile quadro dell'esposizione globale al rumore (in questo caso stradale). La mappa seguente rappresenta l'aggregazione, su una griglia di 100×100 m, del parametro ECUden, ossia un valore che tiene conto sia dei livelli di rumore in facciata agli edifici, sia del numero di residenti esposti a tali livelli (per le scuole e gli ospedali si considera un numero standard di abitanti in funzione della superficie degli edifici, opportunamente maggiorati per considerare la maggiore sensibilità del ricettore in I classe). In pratica, il rumore calcolato presso il singolo edificio viene considerato un numero di volte pari ai residenti presenti nello stesso.

È bene precisare che la mappa non rappresenta necessariamente una situazione di criticità per tutti gli edifici collocati all'interno della griglia (gli edifici collocati sui fronti interni rispetto alla viabilità principale, o quelli collocati lungo quella secondaria, potrebbero essere in una situazione di compatibilità con i limiti normativi), ma deve essere considerata come una rappresentazione dell'esposizione media della città al rumore stradale.



Aggregazione su una griglia 100×100m dei valori ECUden indotti dalla viabilità comunale

Tenendo conto di tale precisazione, appare del tutto evidente come il traffico veicolare risulti essere la sorgente più impattante sulla città, proprio in ragione della sua capillarità e della conformazione del tessuto urbano che, soprattutto negli ambiti più densamente urbanizzati, è connotato dalla presenza degli edifici collocati a ridosso della sorgente stradale. Tale configurazione rende pertanto impossibile prevedere degli efficaci interventi per la mitigazione del rumore, se non adottando delle drastiche misure che incidano, in modo significativo, sul volume del traffico veicolare.

È ovvio che una tale strategia mal si coniuga con le esigenze della città, soprattutto in relazione alle necessità di spostamento legate al lavoro, a meno che non sia supportata da un'efficace offerta di

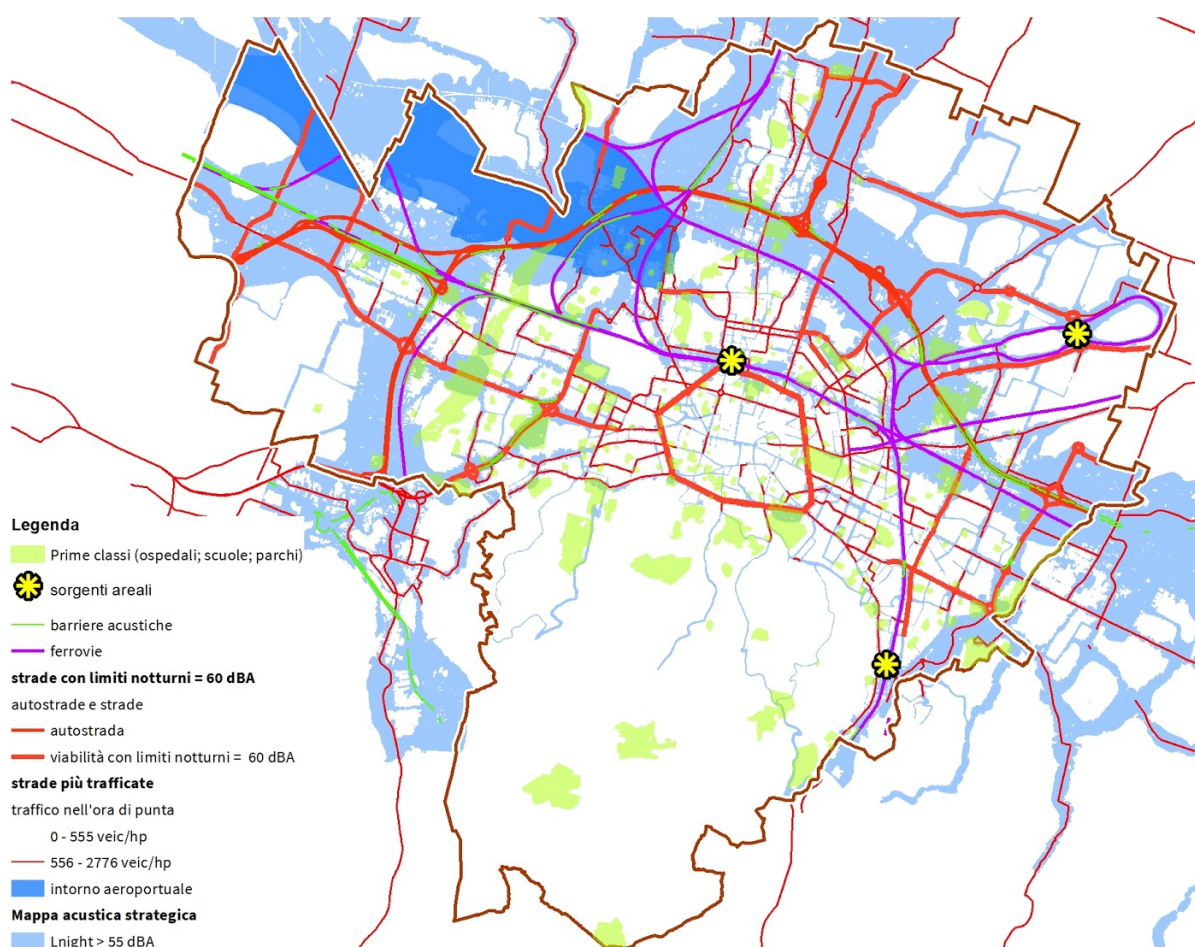
trasporto pubblico (con mezzi che operino con le migliori prestazioni acustiche offerte dal mercato) che vada ad intercettare una sempre maggior fetta del traffico privato.

Tale ambizioso obiettivo se l'è imposto il Piano urbano per la mobilità sostenibile (PUMS) della Città metropolitana di Bologna, che sarà poi attuato dal nuovo PGU del Comune di Bologna, perseguendo una riduzione delle emissioni da traffico del 40% nel lungo periodo (2030).

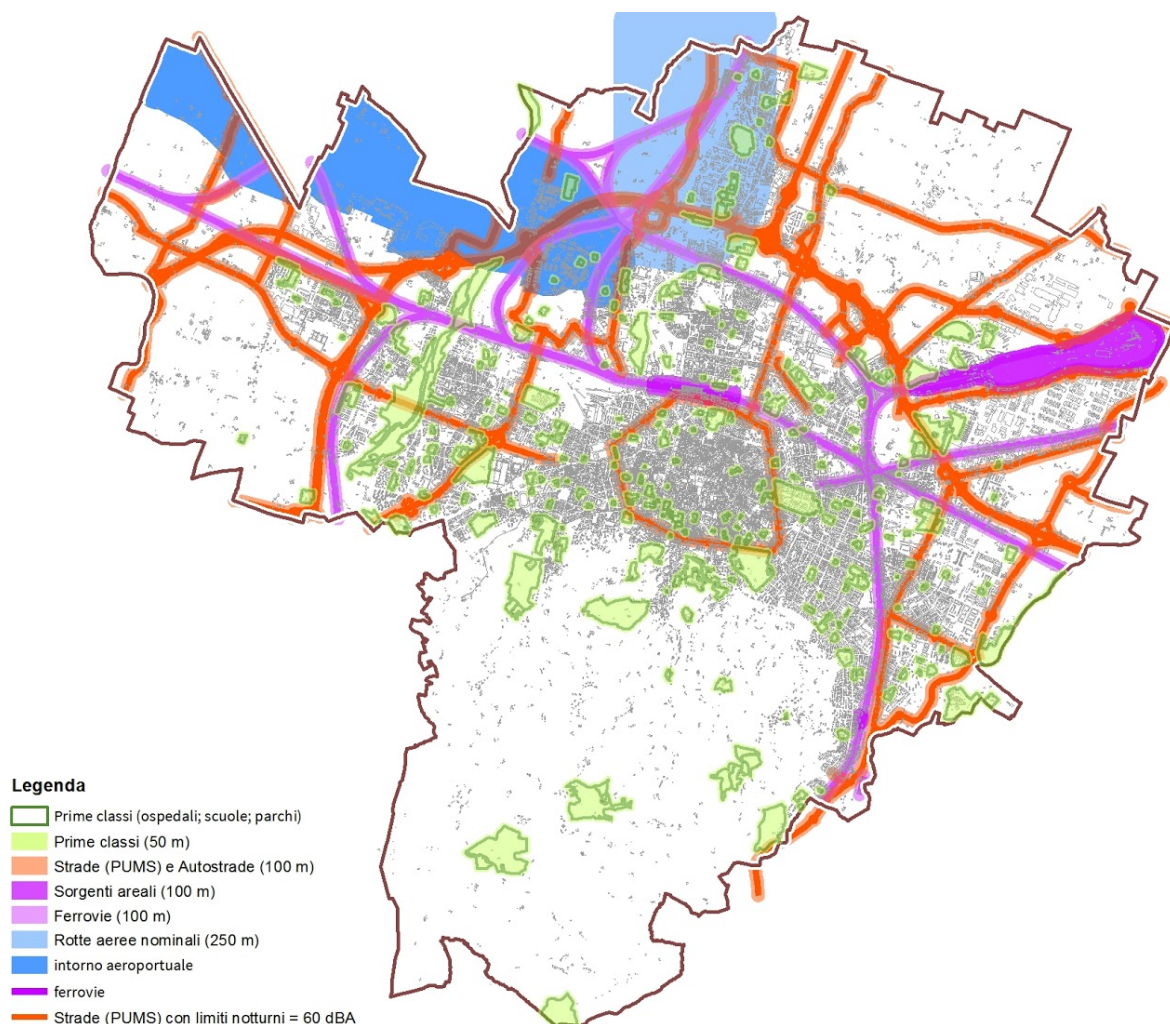
In attesa che siano individuate le azioni per conseguire tale riduzione, assume particolare importanza l'obiettivo di non aumentare l'esposizione al rumore della popolazione, evitando pertanto delle trasformazioni del territorio che incidano in tal senso. Dovranno essere pertanto incentivate le trasformazioni e gli interventi di rigenerazione urbana che, anche in relazione agli aspetti acustici, migliorino le condizioni dell'area di intervento e del suo intorno.

Mapa delle criticità acustiche

Tenuto conto dei dati di rumore rilevati sul territorio e delle simulazioni elaborate nell'ambito della Mapa acustica strategica dell'Agglomerato di Bologna, è stata predisposta la seguente tavola sinottica, in cui è sintetizzata la situazione di inquinamento acustico sul territorio comunale e nella quale sono evidenziate le fonti di rumore maggiormente impattanti.



Dalla tavola predisposta per il Quadro conoscitivo, ed attraverso un ulteriore percorso di sintesi e valutazioni, ne è derivato un ulteriore elaborato cartografico che mette in evidenza i principali elementi di attenzione da considerare nell'ambito della successiva pianificazione, evidenziando sia gli elementi di sensibilità da tutelare (scuole, ospedali, case di cura, ecc.), sia le potenziali sorgenti di rumore che possono impattare sul territorio e sulle trasformazioni in previsione.





Aria e rumore, campi elettromagnetici

Fonti elettromagnetiche nel contesto urbano

Reti di distribuzione dell'energia

La normativa vigente interviene sulle seguenti infrastrutture:

- linee ad alta e media tensione, aeree ed interrate;
- cabine di trasformazione alta/media e di trasformazione medio/bassa.

Le linee aeree ad alta tensione sono le più impattanti in termini di vincoli, mentre le linee interrate risultano molto più contenute. Sono stati eseguiti diversi interventi di interrimento negli ultimi 20 anni e altri sono in fase progettuale. Le aree occupate dalle DPA e delle relative APA sono pari a circa 396,7 ettari, di cui 174,3 ettari in area urbanizzata, coinvolgendo (anche in modo parziale) circa 1.200 edifici: di questi, il 49% circa sono ad uso residenziale.

Gli elettrodotti aerei in area urbana sono pertanto in diminuzione, secondo quanto riportato in questa tabella:

	2005	2010	2015	2019
	35%	38%	42%	44%

Nuovi edifici e modifiche di usi esistenti devono prevedere la compatibilità con i vincoli creati dagli elettrodotti, garantendo il rispetto degli obiettivi di qualità. Si ritiene opportuno sviluppare azioni di interrimento delle linee ad alta tensione, in modo tale che l'impatto sui recettori e sul territorio sia meno rilevante. Progetti di interrimento sono in fase di concertazione, con un Protocollo di intesa con Terna "Protocollo d'Intesa per la collocazione delle opere relative all'intervento - riassetto rete AT aerea di Bologna" che è in corso di sottoscrizione.

Impianti radiotelevisivi

Gli impianti radiotelevisivi sono stati censiti nel piano locale per l'emittenza radiotelevisiva, che riporta politiche e azioni, che in questa sede si riprendono. Il quadro conoscitivo è stato elaborato in sede di PLERT della Provincia di Bologna. L'allegato G indica le azioni da svolgere. La collocazione di nuovi siti e postazioni radiotelevisive deve tener conto dei vincoli e condizionamenti contenuti nei documenti del PLERT. La carta dei vincoli riporta:

- i luoghi ove non è possibile la costruzione di impianti radiotelevisivi;
- la fascia di ambientazione nell'intorno di tali impianti, che regola le attività e le trasformazioni edilizie ammesse in tali intorni.

La dimensione nella fascia di ambientazione viene definita dagli strumenti urbanistici dall'Amministrazione Comunale. È modulata in base all'effettivo impatto - tenendo conto della

potenza di tali impianti - e della morfologia: le aree sui crinali collinari sono più esposte ai campi elettromagnetici rispetto ad altre aree.

Si individuano 3 tipologie di fasce di ambientazione – ai sensi dell’Art. 5.3 comma 1 del Plert - in base alla potenza:

- impianti di tipo A: siti confermati con potenza al connettore d'antenna maggiore di 5 Kw;
- impianti di tipo B: siti con potenza al connettore d'antenna minore di 5 Kw;
- impianti di tipo C: siti dismessi, disattivi, da delocalizzare; collegamenti di qualunque potenza; regie mobili.

Le fasce di ambientazione sono così costruite:

- per impianti di tipo A: viene individuata una fascia di 300 m di raggio, escludendo aree poste a quota inferiore di 40 m rispetto alla base del traliccio;
- per impianti di tipo B: viene individuata una fascia di 150 m di raggio;
- per impianti di tipo C: non viene individuata alcuna fascia di ambientazione e non si applicano limitazioni.

Per percorsi di risanamento di impianti radiotelevisivi, devono essere individuate nuove postazioni più distanti dai ricettori abitati o altamente frequentati, con espresso riferimento agli impianti di San Luca.

Impianti di telefonia mobile

Gli impianti di telefonia mobile sono distribuiti sul territorio comunale in modo assai diffuso. La necessità di dotarsi di servizi di comunicazione mobile sempre più aggiornati (ad esempio con la tecnologia 5G) è evidente per alcuni aspetti, ma contrasta con la necessità di minimizzare l’impatto sui ricettori sensibili, sulle residenze e per mitigare l’impatto paesaggistico. Negli ultimi 15 anni il numero degli impianti di telefonia è aumentato secondo il seguente trend:

2005	2010	2015	2019
294	337	375	429

In continuità con la pianificazione precedente, nella carta dei vincoli sono riportati i divieti localizzativi di nuovi impianti vicini a strutture scolastiche, sanitarie e assistenziali; in tali aree è possibile collocare solo impianti di bassa potenza, minore di 2 Watt. L’inserimento di tali impianti nel contesto urbanistico e territoriale è regolato da apposite linee guida, attualmente in corso di revisione.

L’Amministrazione può concertare con i gestori la localizzazione di impianti in modo tale che – laddove possibile – siano individuate localizzazioni idonee sia al contesto territoriale sia alla copertura del servizio. In questi anni sono state individuate alcune localizzazioni (sia in contesto direzionale sia in centro storico su edifici di pregio) con positivo inserimento degli impianti su edifici, se questi sono più elevati rispetto al contesto circostante. Si ritiene interessante tale modalità per una contemporanea minimizzazione dell’impatto elettromagnetico e dell’impatto estetico.



Aria e rumore, aziende con potenziale impatto

elaborato con la collaborazione dell'Università di Bologna, Dipartimento di ingegneria Civile, Ambientale, Chimica e dei Materiali (DICAM)

Studio sul rischio industriale finalizzato alla valutazione degli interventi di trasformazione urbana e di rigenerazione

Il Comune di Bologna ha ritenuto importante promuovere, in coordinazione con la redazione del proprio Piano Urbanistico Generale (PUG), una serie di attività di studio e ricerca che perseguono l'obiettivo comune di esplorare le modalità di integrazione di alcuni temi innovativi relativi ai cambiamenti climatici e alla sicurezza del territorio all'interno della propria pianificazione urbanistica. Nello specifico la presente analisi, avente come oggetto lo studio del rischio industriale, nasce dalla necessità di valutare la sostenibilità, l'impatto e le possibili problematiche derivanti da futuri interventi di trasformazione urbana in un territorio complesso come quello della città di Bologna, dove molte porzioni del territorio non sono più ad esclusivo uso produttivo ma sono ormai invece ad uso misto come in molti altri contesti urbanizzati.

È importante ricordare che il rischio e nello specifico, il rischio industriale si deve alla presenza sul territorio di attività produttive che utilizzano, producono, movimentano e/o stoccano sostanze pericolose per l'uomo e/o per l'ambiente.

È noto come ad oggi la normativa imponga alle aziende a rischio di incidente rilevante, ovvero alle aziende assoggettate al D.Lgs. 105/2015, l'obbligo di valutare il rischio dovuto alla presenza di sostanze pericolose attraverso una metodologia standardizzata ed assodata.

In questo studio si è voluto, partendo proprio da questa metodologia e considerando principalmente il bersaglio uomo, estendere la valutazione anche ad altre attività potenzialmente "pericolose" per le quali la valutazione del rischio non è imposta dalla legislazione vigente. Pertanto, ci si è posti come obiettivo la predisposizione di una metodologia che permetta di effettuare il censimento e la selezione delle attività produttive e commerciali da attenzionare per quanto concerne il rischio industriale diffuso, ovvero attività che trattano o utilizzano sostanze pericolose, partendo proprio dalla metodologia nota ed assodata per le aziende a rischio di incidente rilevante.

METODOLOGIA

Per effettuare il censimento e la selezione delle delle attività produttive e commerciali da attenzionare per quanto concerne il rischio industriale diffuso, è stato innanzitutto necessario selezionare delle tipologie di attività potenzialmente di interesse per lo studio e per le quali fosse possibile reperire in maniera semplice informazioni sia qualitative sia quantitative relative alla presenza di sostanze pericolose. Le tipologie di attività che si sono prese in considerazione sono:

- le attività a rischio di incidente rilevante (RIR)
- le attività soggette ad Autorizzazione Integrata Ambientale (AIA),
- le attività soggette ad Autorizzazione Unica Ambientale (AUA).

Per le attività commerciali e produttive presenti nella città di Bologna appartenenti alle tipologie appena elencate, sono state raccolte dalla documentazione fornita, tutti i dati relativi all'attività stessa (ragione sociale, indirizzo, codice ATECO 2007) e alla presenza di sostanze pericolose, quando disponibili.

Dopo aver raccolto tutte queste informazioni, si sono definiti dei criteri per effettuare in maniera univoca e semplice la selezione delle attività da includere nell'analisi.

Una volta individuate le attività di interesse per lo studio, ovvero quelle in cui è stata accertata la presenza di sostanze pericolose e quelle ricadenti in categorie definite ad hoc (come verrà descritto in seguito nel dettaglio), ci si è posti come obiettivo la loro georeferenziazione e sono state pertanto raccolte le loro coordinate geografiche utilizzando il Sistema Informativo Territoriale del Comune di Bologna.

È stato infine possibile, utilizzando un software GIS, trasporre tutte le informazioni raccolte su una mappa. Tale mappa, per come è stata pensata e costruita, consente di individuare facilmente la posizione delle attività ritenute pericolose per quanto concerne il rischio industriale e di consultare ed aggiornare facilmente tutti i dati raccolti per le singole attività.

Nelle due sezioni successive, verranno presentate nel dettaglio le due principali fasi dello studio: il censimento e la selezione delle attività e la georeferenziazione delle attività ritenute di interesse.

CENSIMENTO E SELEZIONE DELLE ATTIVITÀ DA INCLUDERE NELLO STUDIO

Una fase di fondamentale importanza per la presente analisi è stata l'individuazione di tipologie di attività produttive e commerciali potenzialmente di interesse e per le quali fosse possibile reperire in maniera semplice informazioni sia qualitative sia quantitative relative alla presenza di sostanze pericolose (per chiarezza si precisa che non esistendo specifici obblighi normativi per le attività che trattano/utilizzano/detengono sostanze pericolose in quantità inferiori ai valori soglia espressi in tonnellate contenuti nell'allegato I del D.Lgs. 105/2015 che si è preso a riferimento, non è sempre immediato reperire tali informazioni).

Tenendo conto di queste necessità, le tipologie di attività che sono considerate sono:

- le attività a rischio di incidente rilevante (RIR),
- le attività soggette ad Autorizzazione Integrata Ambientale (AIA),
- le attività soggette ad Autorizzazione Unica Ambientale (AUA).

Le attività a rischio di incidente rilevante rientrano per definizione nella presente analisi in quanto la presenza di sostanze pericolose oltre definiti valori soglia (si veda l'Allegato I del D.Lgs. 105/2015) costituisce il criterio di definizione della tipologia stessa. Inoltre, tutte le informazioni relative alle sostanze pericolose trattate/detenute, ai possibili scenari, alle loro frequenze di accadimento e alle aree di danno sono obbligatoriamente presentate sia nel Rapporto di Sicurezza sia nel Piano di Emergenza Esterno (per gli scenari che hanno area di impatto esterna ai confini dello stabilimento).

Per quanto riguarda invece le attività soggette ad Autorizzazione Integrata Ambientale, le informazioni sulle sostanze detenute/utilizzate/ trattate e sul processo produttivo sono sempre e facilmente desumibili dall'Allegato I della Relazione Tecnica (sempre presente nella documentazione). Tale autorizzazione mira a valutare la compatibilità ambientale di alcune attività produttive che potrebbero determinare problemi ambientali rilevanti e le principali categorie di attività che devono richiedere tale autorizzazione sono riportate nell'Allegato VIII alla parte seconda del D. Lgs. n° 152 e s.m.i., così come modificato dal D.Lgs. n° 46/2014.

Per quanto concerne invece le attività soggette ad Autorizzazione Unica Ambientale, è stato necessario definire dei criteri per la scelta delle attività da includere nello studio dal momento che le informazioni ricavabili dalla documentazione variano fortemente da caso a caso e non sono sempre omogenee.

Tale autorizzazione sostituisce infatti un'ampia serie di atti di comunicazione, notifica ed autorizzazione in materia ambientale per la categoria delle piccole-medio imprese e per gli impianti non soggetti ad AIA.

Una volta individuate le tipologie di attività da considerare, il Committente ha fornito la lista delle aziende ricadenti in tali categorie e la relativa documentazione. Da tale documentazione, sono state raccolti tutti i dati relativi alle attività stesse (ragione sociale, indirizzo, codice ATECO 2007) e alla presenza di sostanze pericolose, ovvero, quando possibile, si è cercato di individuare attività nelle quali venissero trattate o utilizzate a vario titolo le sostanze (o categorie di sostanze) di cui all'allegato 1 del D.Lgs. 105/2015.

Date queste considerazioni, le tipologie di attività che si ritengono da includere nello studio sono:

- tutte le attività a rischio di incidente rilevante (RIR) presenti o aventi aree di impatto all'interno del Comune di Bologna, nel caso specifico tre;
- tutte le attività soggette ad Autorizzazione Integrata Ambientale (AIA) presenti nel Comune di Bologna, nel caso specifico otto;
- le attività soggette ad Autorizzazione Unica Ambientale (AUA) presenti nel Comune di Bologna ritenute di interesse, selezionate sulla base di due criteri definiti ad hoc per questo studio (come si descriverà in seguito).

Come facilmente si comprenderà, la selezione delle attività a rischio di incidente rilevante e soggette ad Autorizzazione Integrata Ambientale è immediata, mentre le attività soggette ad Autorizzazione Unica Ambientale, che si precisa sono circa 300, richiedono una maggiore attenzione oltre che la definizione di criteri ad hoc.

Si presenterà ora, per chiarezza, il quadro d'insieme dei passi che si sono seguiti per la selezione di quest'ultima tipologia di attività.

Partendo dalla lista dei procedimenti di AUA e dalla documentazione fornita dal Committente è stato innanzitutto effettuato un primo controllo sulla lista: sono state eliminate le attività non più in essere e le attività per le quali è stata richiesta solo la valutazione di impatto acustico in quanto non rilevanti ai fini dell'analisi.

Successivamente, per tutte le attività rimanenti, sono stati trovati sulla base della classificazione delle attività economiche Ateco 2007 i relativi codici e sono state raccolte tutte le informazioni disponibili della documentazione in un database appositamente predisposto relativamente a:

- presenza di sostanze pericolose (di cui Allegato 1 del D.Lgs. 105/2015),
- attività svolta e processo produttivo,
- presenza di sostanze pericolose negli scarichi (Allegato V parte terza del D.Lgs. 152/2006).

A questo punto, avendo riscontrato che le informazioni desumibili dalla documentazione disponibile variano fortemente da caso a caso e sono spesso disomogenee, è stato necessario definire dei criteri per effettuare la selezione delle attività da includere nell'analisi tenendo come riferimento i criteri di assoggettabilità per le aziende a rischio di incidente rilevante.

I due criteri sono i seguenti:

CRITERIO 1) Sono state incluse tutte attività per le quali è espressamente dichiarato nella documentazione disponibile che vengono trattate/utilizzate/detenute le sostanze pericolose contenute nell' Allegato 1 del D.Lgs. 105/2015 a prescindere dalle condizioni di stoccaggio e dalla quantità.

In tale allegato si trovano elencate sia le categorie di sostanze pericolose (Parte 1) sia le sostanze pericolose specificate (Parte 2) e vengono indicate per ciascuna tipologia/sostanza specifica le soglie di assoggettabilità al decreto sopracitato (in tonnellate). Nel nostro caso, dal momento che non si considera rilevante la quantità di sostanza, sarà necessario:

- individuare nella documentazione relativa ad ogni attività quali sono le sostanze presenti,
- cercare le schede di sicurezza (quando non già disponibili), qui si trovano informazioni di dettaglio sulla classificazione delle sostanze (es. liquido infiammabile, categoria 1),
- verificare attraverso gli elenchi riportati nell' Allegato 1 del D.Lgs. 105/2015 se tali sostanze sono da ritenersi pericolose.

CRITERIO 2) Per i casi in cui non è stato possibile includere in maniera certa le attività nella selezione utilizzando il primo criterio, ovvero dove non è indicato chiaramente nella documentazione disponibile quali sono le sostanze detenute e/o le schede di sicurezza non sono reperibili, è stata definita una categoria di rischio. Tale categoria, la cui definizione è riportata nel dettaglio nella seguente Tabella 1, è stata definita anche basandosi sulle numerose informazioni raccolte durante le prime fasi del lavoro e su alcune indicazioni specifiche del Committente e permette di includere, a prescindere dalle informazioni disponibili, alcune tipologie di attività identificate come pericolose.

CATEGORIA DI RISCHIO	Sensore
DISTRIBUTORI CARBURANTE	La categoria si identifica direttamente con il codice ATECO 47.30.00
LAVAGGIO AUTO	La categoria si identifica direttamente (ma non solo) con il codice ATECO 45.20.91
TRATTAMENTO METALLI	La categoria si identifica direttamente con il codice ATECO 25.61.00
RACCOLTA RIFIUTI	La categoria si identifica direttamente con il codice ATECO 38.10.00
ROTTAMAI	La categoria si identifica direttamente con il codice ATECO 46.77.10 ed è stata inclusa in quanto queste attività generano spesso lamentele da parte della cittadinanza
LAVORAZIONE CONGLOMERATI BITUMINOSI	La categoria si identifica direttamente con il codice ATECO 23.63.00 ed è stata definita in quanto le emissioni odorigene provenienti da queste attività generano spesso lamentele da parte della cittadinanza
INFIAMMABILI	La categoria include tutte le attività per le quali è chiaro che vengono utilizzate/detenute sostanze infiammabili (es. centrali termiche, depositi di combustibile, ecc.). Possono rientrarvi diversi codici ATECO.
VERNICI/SOLVENTI	La categoria include tutte le attività dove si utilizzano vernici e solventi (in gran parte sostanze infiammabili e tossiche). Possono rientrarvi diversi codici ATECO.
TIPOGRAFIE	Tale categoria include tutte le attività dove l'attività principale è la stampa dove si utilizzano inchiostri, solventi ed altri materiali potenzialmente tossici ed infiammabili. Possono rientrarvi diversi codici ATECO.
LAVANDERIE	Tale categoria include tutte le attività dove l'attività principale è il lavaggio (ad acqua e/o a secco) di tessuti dove si utilizzano detersivi potenzialmente tossici sia per l'uomo sia per l'ambiente acquatico. Possono rientrarvi diversi codici ATECO.
ALTRO	Tale categoria vuole sia includere sia tutte le attività per cui si ritiene necessario un ulteriore approfondimento (potenzialmente pericolose ma per le quali le informazioni sono assenti nella documentazione) sia quelle attività complesse che potrebbero ricadere in più categorie tra quelle precedentemente descritte

Tabella1 – Codice di Rischio per attività soggette ad Autorizzazione Unica Ambientale

Come si può facilmente vedere, alcune categorie di rischio sono immediatamente individuabili sulla base del codice ATECO mentre altre necessitano di ulteriori considerazioni (questo passaggio risulterà

più chiaro dopo aver visto la presentazione del database delle attività nella sezione 3). Si ribadisce che tale classificazione in categorie è di fondamentale importanza data la disomogeneità della documentazione e della varietà di casi da trattare.

Per concludere, le tipologie di attività che sono state incluse nello studio sono:

tutte le attività a rischio di incidente rilevante (RIR) presenti nel Comune di Bologna,

tutte le attività soggette ad Autorizzazione Integrata Ambientale (AIA) presenti nel Comune di Bologna,

le attività soggette ad Autorizzazione Unica Ambientale (AUA) presenti nel Comune di Bologna ritenute di interesse, selezionate sulla base di due criteri definiti ad hoc per questo studio (come descritto in precedenza).

Si precisa che altre tipologie di attività potranno essere integrate o modificate nella presente metodologia in una seconda fase in seguito a revisione da parte del Committente.

Una volta ultimata la selezione, si è costruito un database completo (contenente tutte le informazioni raccolte anche per le attività non incluse nell'analisi) ed un database contenente solo le informazioni delle attività selezionate predisposto per essere utilizzato come input in un software GIS. Entrambi verranno descritti in seguito nella sezione 3. Inoltre, per consentire un più facile accesso e garantire la tracciabilità del processo, tutta la documentazione raccolta è stata organizzata in modo da avere una cartella per ogni attività da considerare (nel caso in cui un'attività abbia più sedi, sono presenti delle sottocartelle).

GEOREFERENZIAZIONE DELLE ATTIVITÀ INCLUSE NELLO STUDIO

Per le attività commerciali e produttive incluse nell'analisi sono state individuate le coordinate geografiche nel sistema di riferimento EPGS:3003 (Monte Mario, zona 1) utilizzando il Sistema Informativo Territoriale del Comune di Bologna. Nello specifico, la mappa utilizzata è disponibile sul sito <http://sitmappe.comune.bologna.it/clientweb/>. Nella ricerca delle coordinate si è fatto riferimento ai civici indicati nelle liste delle attività fornite dal Committente ed è stato necessario scegliere dei punti rappresentativi ricadenti all'interno degli edifici e possibilmente non ai margini di essi (si comprenderà che questa accortezza è essenziale per la corretta esecuzione della procedura).

Utilizzando un software GIS, è stato quindi possibile trasporre l'intero database con tutte le informazioni raccolte per le aziende selezionate (si vedano le sezioni 2.1 e 3.1) su una mappa. Qui in seguito si presenterà una descrizione sintetica della procedura mentre in Appendice A si troveranno descritti tutti i passaggi nel dettaglio.

Per ottenere il database georeferenziato voluto, una volta note le coordinate dei punti rappresentativi delle singole attività selezionate, è stato necessario:

associare tali punti e le informazioni delle relative aziende agli edifici loro corrispondenti (utilizzando lo shapefile a poligoni 'edifici_montemario' fornitoci dal Committente, nel quale sono rappresentati e censiti tutti gli edifici della città);

collegare gli edifici trovati con il database completo in modo da avere per ogni poligono rappresentante un edificio, tutte le informazioni raccolte relativamente alla rispettiva attività (ritrovabili quindi nella tabella degli attributi dello shapefile così generato).

RISULTATI

Dal censimento e dalla selezione delle attività si è ottenuto un database completo (contenente tutte le informazioni raccolte anche per le attività non incluse nell'analisi) ed un database contenente solo le informazioni delle attività selezionate e predisposto per essere utilizzato come input in un software GIS. Tali database hanno struttura analoga (il secondo non è che una selezione del primo) e verranno pertanto descritti insieme.

Ciascuno di essi si divide in due parti: la prima è relativa alla descrizione generale delle attività ed alla raccolta di informazioni relativa alla presenza di sostanze pericolose (e verrà descritta nella sezione 3.1) mentre la seconda riguarda la georeferenziazione e vi sono riportate le coordinate delle attività

selezionate nel sistema EPGs:3003 e, quando necessario, note relative ai problemi riscontrati durante la raccolta delle coordinate (descritta nella sezione 3.2).

È stato infine possibile ottenere un database georeferenziato delle sole attività selezionate utilizzando un software GIS. La mappa ottenuta sotto forma di shapefile consente sia di individuare facilmente la posizione delle attività ritenute pericolose per quanto concerne il rischio industriale sia di consultare, implementare ed aggiornare facilmente il database stesso.

IL DATABASE DELLE ATTIVITÀ

Come anticipato, il database costruito raccoglie, nella sua prima parte, le principali informazioni relative all'attività (ragione sociale, tipo di attività, codice Ateco 2007) e informazioni relative alla presenza e alla tipologia di sostanze pericolose detenute (facendo riferimento dall' Allegato I del D.Lgs. 105/2015) e ulteriori dettagli ritenuti di interesse per eventuali sviluppi futuri. Si precisa, che per le attività soggette ad Autorizzazione Unica Ambientale, nel caso in cui non siano reperibili informazioni precise sulla presenza di sostanze pericolose o non siano disponibili le schede di sicurezza, è stata definita una categoria di rischio (come descritto nel paragrafo 2.1).

Per chiarezza e per facilitare la lettura e l'aggiornamento del database stesso, se ne presenta ora uno stralcio a puro titolo di esempio (fig.1), il foglio di lavoro completo si trova allegato a questo documento ("DATABASE ATTIVITA'_COMPLETO.xlsx").

NOME IMPRESA	TIPO ATTIVITA'	CODICE ATECO	NOTE ATECO	tipologia sostanze pericolose presenti e categoria				NOTE PRESENZA SOSTANZE PERICOLOSE (Allegato I del D.Lgs. 105/2015)	CODICE RISCHIO	F	IF	d	INDICE DI RISCHIO	CODICE AUTORIZZAZIONE	PRESENZA SOSTANZE PERICOLOSE IN STABILIMENTO GLI SCARICHI	NOTE SOSTANZE PERICOLOSE NEGLI SCARICHI
				PRESENZA SOSTANZE PERICOLOSE (Allegato I del D.Lgs. 105/2015)	Infiammabili	Tossici Acuti	Tossici per l'ambiente acquatico									
2 EMME S R.L.	AUA	46 77 10	nell'atto è indicata						ROTTAMAI					S	NO	info da istanza/modulo
A.F. MECCANICA S.R.L.	AUA	25 62 00		NO				materie prime dichiarate						E		
DAVID THERMALLOY S.R.L.	AUA	25 62 00	nell'atto è indicata	SI	2 (liq.)			sostanza attenzionata:						S	NO	info da istanza/modulo
REMME S.N.C. DI APARO ANGELO E MINARELLI	AUA	47 30 00		SI	1(gas), 3(liq.)			presentata sds gasolio	DISTRIBUITORI					S	NO	info da istanza/modulo
AEROPORTO GIUSEPPE MARCONI DI BOLOGNA	AUA	52 23 00						(nessuna info nella	INFIAMMABILI					S		
AIR BP ITALIA SPA	AUA	46 71 00	codice non trovato nella						DISTRIBUITORI					S		
ALEKS LAMAJ	AUA	47 30 00						(nessuna info nella	ALTRIO					S		
ALFASIMA S.P.A.	AUA	72 11 00	codice non trovato nella						LAVAGGIO AUTO					S		
ALL SERVICE S.A.S. DI IEVA MASSIMILIANO E C.	AUA	45 20 91	codice non trovato nella											S		
ANTICA SALUMERIA DEL BARGELLINO - S.R.L.	AUA	10 13 00	codice non trovato nella					(nella documentazione						S		
ARTIGIANI ASSOCIATI DI GASTONE MANARESI	AUA	25 29 19	codice non trovato nella	NO				materie prime dichiarate:						E		
ARTIGIANQUALITY S.R.L.	AUA	10 13 00						(nessuna info nella						S		
AUTOCROZZERA DEPOCA DI MARKU ALBI	AUA	45 20 10	codice non trovato nella	SI	2 (liq.), 3	3	(4)	sostanze attenzionate:						E		
AUTOCENTRO POLIZIA DI STATO DI BOLOGNA	AUA	47 30 00	nell'atto è indicata						DISTRIBUITORI					S	NO	info da istanza/modulo
AUTOCOMMERCIALE S.P.A.	AUA	45 20 91							LAVAGGIO AUTO					S		
AUTOLAVAGGIO PARISO DI MICHELE MARNOI	AUA	45 20 90						(nessuna info nella	LAVAGGIO AUTO					S		
AUTOLAVAGGIO SHOMUN S.A.S. DI CHOWDHU	AUA	45 20 91	codice non trovato nella						LAVAGGIO AUTO					S		
AUTOLAVAGGIO SHOMUN S.A.S. DI CHOWDHU	AUA	45 20 91	codice non trovato nella						LAVAGGIO AUTO					S		
AUTOLAVAGGIO SHOMUN S.A.S. DI CHOWDHU	AUA	45 20 91	codice non trovato nella						LAVAGGIO AUTO					S	NO	info da istanza/modulo
AUTOLAVAGGIO SILVANI S.N.C. DI GIUSEPPE N.	AUA	45 20 91						(nella documentazione	LAVAGGIO AUTO					S	NO	info da istanza/modulo
AUTOLAVAGGIO SPEEDY DI ANCORA CONCETTI	AUA	45 20 91							LAVAGGIO AUTO					S		
AUTOLAVAGGIO STADIO S.A.S. DI BALSANI ROBE	AUA	45 20 91							LAVAGGIO AUTO					S		
AUTOLUNA E R. S.R.L.	AUA	45 11 01	nell'atto è indicata					(nessuna info nella	LAVAGGIO AUTO					S		
AUTOSTRADE PER L'ITALIA S.P.A. - CASELLO A	AUA	06 32 10	codice probabilmente											S		
AVENDO S.R.L.	AUA	56 29 10		NO				riportato elenco delle						S		
AZIENDA USI DI BOLOGNA	AUA	86 10 10		SI	2 (liq.), 3	3		presenza gruppi						S/E		

Figura 1 – Struttura del database

Nella tabella successiva, si presenta una descrizione dettagliata delle voci del database, nell'ottica di facilitarne la consultazione ed eventuali aggiornamenti futuri.

VOCE DEL DATABASE	DESCRIZIONE
NOME ATTIVITA'	È qui riportata la ragione sociale
TIPO DI ATTIVITÀ	Viene indicato il tipo di autorizzazione a cui è soggetta l'attività (RIR/AIA/AUA)
CODICE ATECO	Per tutte le aziende è riportato il codice ATECO 2007 (6 cifre) per fornire un'indicazione di massima del processo produttivo/attività svolta
NOTE ATECO	In questa sezione sono riportati eventuali problemi/particolarità relativi alla ricerca del codice ATECO (es. l'assenza del codice nella documentazione disponibile, la presenza di più codici per una stessa attività). Inoltre, nei casi in cui si è ritenuto necessario (quando il codice non descrive in maniera esaustiva l'attività/ il processo produttivo), si è riportata la descrizione sintetica dell'attività svolta come indicata nella documentazione

PRESENZA SOSTANZE PERICOLOSE (Allegato I del D.Lgs. 105/2015)	Viene sinteticamente indicato («SI» / «NO») se nell'attività sono presenti sostanze pericolose di cui all' Allegato I del D.Lgs. 105/2015. A differenza delle valutazioni che si fanno per le aziende a rischio di incidente rilevante, si sono considerate le tipologie di sostanze indicate nell'allegato a prescindere dalla quantità e dalle condizioni di stoccaggio
TIPOLOGIA SOSTANZE PERICOLOSE E CATEGORIA	Nel caso di presenza di sostanze pericolose, in queste tre colonne si indica per le tre principali categorie di sostanze pericolose di interesse (infiammabili, tossici acuti, tossici per l'ambiente acquatico) la categoria di pericolo e, nel caso degli infiammabili, lo stato della sostanza.
NOTE SOSTANZE PERICOLOSE (Allegato I del D.Lgs. 105/2015)	Si riportano dettagli/chiarimenti relativamente alle sostanze pericolose presenti nell'attività ed in generale, per tutte attività, informazioni ricavate dalla documentazione disponibile potenzialmente rilevanti per lo studio.
CATEGORIA DI RISCHIO	Tale categoria è riportata solo per particolari attività AUA, ovvero per per le tipologie di attività precedentemente descritte (si veda la descrizione delle categorie di rischio per le attività AUA) nel caso in cui non si trovino dichiarate espressamente nella documentazione le sostanze utilizzate/trattate/detenute e/o non siano disponibili le loro schede di sicurezza
PRESENZA SOSTANZE PERICOLOSE NEGLI SCARICHI	Si è verificata la presenza/assenza di sostanze pericolose negli scarichi (tabella 3/A dell'Allegato V parte terza del D.Lgs. 152/2006 e tabella 5 dell'Allegato V parte terza D.Lgs. 152/99 e Allegato II della D.G.R. 1053/2003) anche in funzione dell'estensione dello studio al bersaglio ambiente
NOTE SOSTANZE PERICOLOSE NEGLI SCARICHI	Si riporta l'origine dell'informazione per chiarezza ed eventuali dettagli
CODICE AUTORIZZAZIONE	Tale codice è riportato solo per le attività AUA e identifica il tipo di autorizzazione (scarichi ('S') e/o emissioni in atmosfera 'E')

Tabella2 – Descrizione delle principali voci (colonne) del database

IL DATABASE GEOREFERENZIATO

Nella seconda parte della database sono indicate, oltre naturalmente all'indirizzo, le coordinate x e y relative alle attività selezionate nel sistema di riferimento EPRG:3003 (trovate utilizzando il SIT del Comune di Bologna). Per chiarezza, alla voce "note georeferenziazione" sono indicati eventuali problemi riscontrati durante la ricerca delle coordinate (indirizzi sbagliati nella lista fornita, impossibilità di trovare un edificio corrispondente all'attività, ecc.).

Utilizzando un software GIS, è stato possibile attraverso una serie di passaggi (descritti nel dettaglio in Appendice A) trasporre tutte le informazioni raccolte per le attività selezionate su una mappa, ovvero georeferenziare il database appena descritto in forma di shapefile a sua volta caricato nel progetto GIS "rischioind_databasegeoreferenziato.qgz" (contenuto nella cartella compressa allegata alla presente relazione "RISCHIO INDUSTRIALE DIFFUSO.zip" per i cui contenuti di dettaglio si rimanda ancora all'Appendice A)

Tale mappa permette di individuare facilmente la posizione delle attività ritenute pericolose per quanto concerne il rischio industriale. Gli edifici delle aziende selezionate sono infatti stati evidenziati con colori diversi a seconda della tipologia (le aziende soggette ad AUA sono state evidenziate in giallo, quelle soggette ad AIA in rosso, mentre per le RIR saranno riportate direttamente le aree di danno già note dalla documentazione). A titolo di esempio, si presentano in seguito alcuni stralci della mappa ottenuta (Fig.2 e Fig.3).



Figura 2 – Area Est / Roveri



Figura 3 – Area Nord

Nella tabella attributi di ciascuna attività, quindi “chiedendo informazioni” riguardo ad uno specifico edificio, saranno quindi consultabili tutti i dati raccolti ed elaborati presenti nel database. In fig.4, si riporta a titolo di esempio la tabella attributi di una delle attività analizzate.

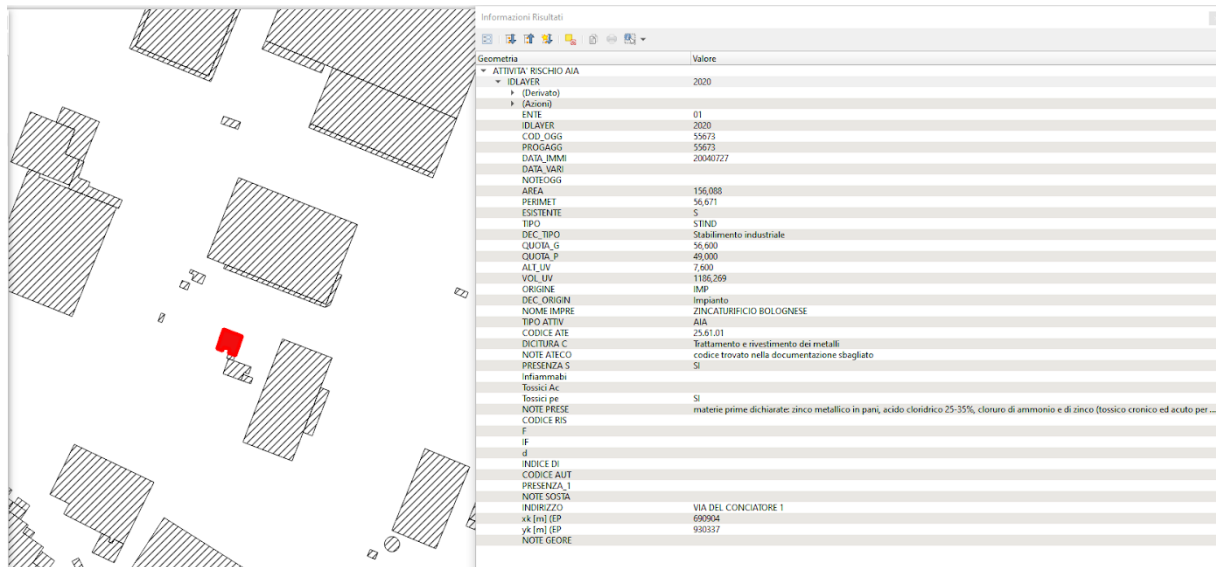


Figura 4 – Esempio database georeferenziato

CONCLUSIONI

La metodologia che si è definita ha permesso di effettuare il censimento e la georeferenziazione delle attività che possono ritenersi pericolose per quanto concerne il rischio industriale nella città di Bologna ed è stata ricavata da quella nota ed associata delle aziende a rischio di incidente rilevante.

L'analisi che si è portata avanti, è che è stata descritta nel dettaglio in questa relazione, vuole essere uno strumento di supporto per valutare possibili problematiche derivanti da futuri interventi di trasformazione urbana. Il database georeferenziato prodotto sarà un elemento chiave da consultare per prendere delle decisioni, in quanto fornisce un quadro delle attività ritenute potenzialmente pericolose e ne permette una rapida localizzazione spaziale. Lo scopo principale è quello di evidenziare eventuali potenziali criticità che possano richiedere un'analisi più approfondita caso per caso. Si ricorda che uno strumento di questo tipo risulta particolarmente utile per territori, come quello del Comune di Bologna, dove molte aree non sono più ad esclusivo uso produttivo ma sono ormai invece ad uso misto.

Per concludere (Figura 4), si presenta un quadro d'insieme delle attività selezionate (per ogni attività è indicato un punto per migliore leggibilità).

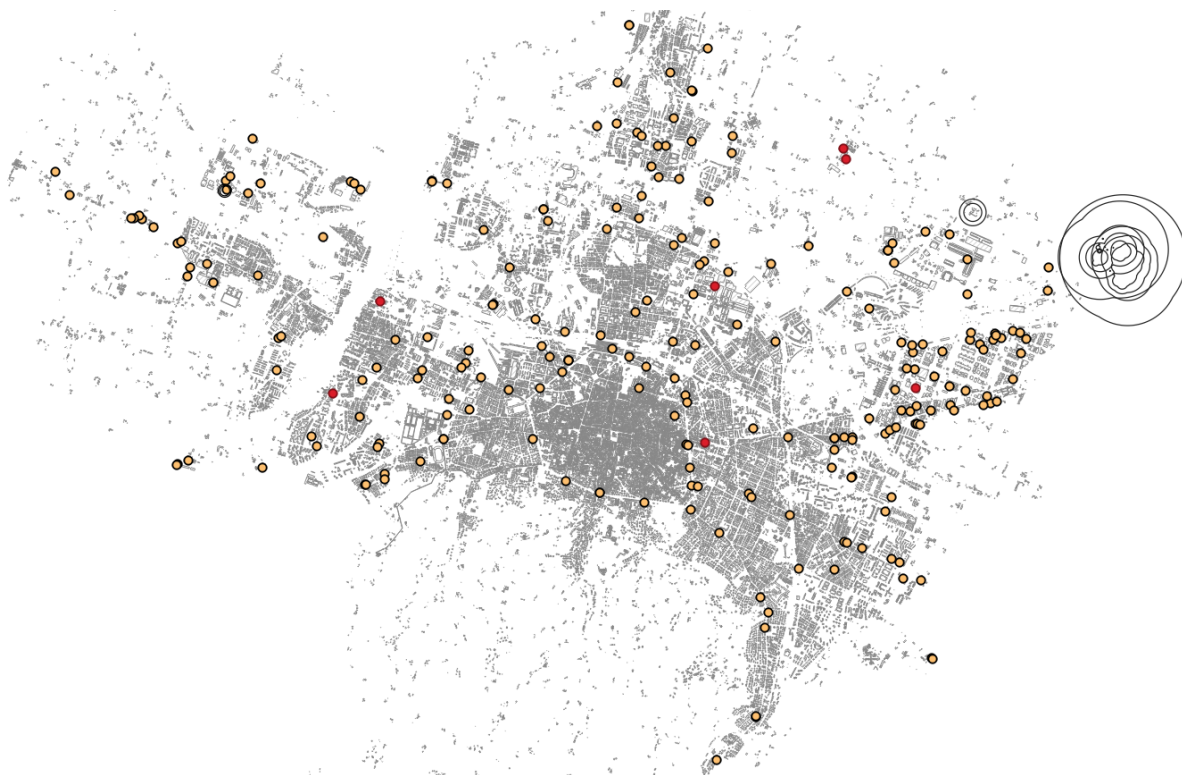


Fig.4 – Quadro d'insieme delle attività selezionate



Aria e rumore, rischio incidenti rilevanti

Stabilimenti a rischio incidenti rilevanti

E' in corso la redazione del nuovo Elaborato Tecnico RIR, che si prevede di concludere entro approvazione del PUG. L'approfondimento qui riportato sarà aggiornato con il nuovo elaborato approvato dal settore ambiente e consultabile nel sito web dedicato.

L'Elaborato Tecnico "Rischio di Incidenti Rilevanti" è stato elaborato nel 2008 nell'ambito del lavoro condotto per il PSC ed in applicazione del Decreto Ministeriale 9 maggio 2001 che definisce i requisiti minimi di sicurezza in materia di pianificazione urbanistica e territoriale per le zone interessate da stabilimenti a rischio d'incidente rilevante ai sensi del Decreto Legislativo 334/1999 ("Attuazione della Direttiva 96/82/CE relativa al controllo dei pericoli di incidenti rilevanti connessi con determinate sostanze pericolose") e dal Decreto Legislativo 238/2005 ("Attuazione della direttiva 2003/105/CE che modifica la Direttiva 96/82/CE sul controllo dei pericoli di incidenti rilevanti connessi con determinate sostanze pericolose"), che introduce alcune modifiche agli articoli del D.Lgs. 334/1999. L'Elaborato Tecnico va integrato all'interno degli strumenti urbanistici vigenti, con lo scopo di tutelare le aree limitrofe a quelle degli stabilimenti a rischio di incidente rilevante in base alle informazioni fornite dalle relazioni dei gestori degli impianti ed alle analisi cartografiche relative agli involuipi delle aree di danno.

Il presente documento viene aggiornato a seguito del Decreto Legislativo 105/2015 ("Attuazione della direttiva 2012/18/UE relativa al controllo del pericolo di incidenti rilevanti connessi con sostanze pericolose"). Con particolare riferimento al ruolo dei Comuni, le novità della nuova normativa riguardano l'aggiornamento delle funzioni e dei soggetti chiamati a far parte del Comitato Tecnico Regionale (CTR), le modalità di notifica da parte del gestore dello stabilimento alle autorità competenti (Art. 14) e le modalità di redazione dei documenti relativi alla prevenzione degli incidenti rilevanti, dei rapporti di sicurezza e dei piani di emergenza, e le modalità di informazione al pubblico e consultazione (Artt. 23 e 24).

Il D.Lgs. 105/2015 apporta alcune modifiche al D.Lgs. 334/1999, che riguardano i seguenti aspetti:

- la definizione della soglia inferiore e superiore (con le precise quantità specificate nell'Allegato I);
- le funzioni degli enti competenti. La composizione del CTR viene istituita dal Ministero dell'Interno, e viene anche definita la composizione dei suoi membri; per gli stabilimenti di soglia inferiore la Regione (o il soggetto da essa designato) ha funzione di predisporre il piano regionale per le ispezioni e si esprime per la individuazione degli stabilimenti soggetti ad effetto domino.³

³ Le funzioni del Comune, sostanzialmente invariate, sono meglio specificate per quello che riguarda il controllo delle urbanizzazioni nelle zone limitrofe agli stabilimenti, le procedure di informazione di consultazione della popolazione e la redazione dell'elaborato tecnico (ERIR), da aggiornarsi in caso di variazione dello strumento di pianificazione urbanistica che interessa le aree di danno degli stabilimenti, le modifiche agli stabilimenti, e comunque ogni 5 anni.

- le notifiche da parte dei gestori degli stabilimenti devono venire ripresentate secondo la nuova modulistica di cui agli allegati. Per i nuovi stabilimenti, 180 giorni prima dell'inizio della costruzione o 60 giorni prima delle modifiche che comportano una variazione delle sostanze pericolose; per gli stabilimenti esistenti, entro un anno dalla data in cui la direttiva 2012/18/UE si applica allo stabilimento.

La redazione del documento di politica di prevenzione dei rischi deve seguire linee guida definite dalla legge (Allegato B). I nuovi stabilimenti di soglia superiore devono ricevere un nulla osta di fattibilità, presentando un rapporto di sicurezza linee guida definite dalla legge (Allegato C) che sarà valutato dal CTR. È il CTR ad identificare gli stabilimenti potenzialmente soggetti ad effetto domino, mettendo a disposizione informazioni non note ai gestori. I gestori, inoltre, devono trasmettere al Prefetto, entro 4 mesi dalla comunicazione del CTR sugli stabilimenti a rischio effetto domino, le informazioni necessari per la redazione del Piano di emergenza esterna. Il Piano di Emergenza Esterna (PEE) è predisposto dal Prefetto di concerto con le regioni, gli enti locali interessati, il CTR e previa consultazione della popolazione, sulle scorta delle informazioni fornite dal gestore.

Le informazioni al pubblico e la consultazione pubblica relativi alle notifiche, alla costruzione di nuovi stabilimento o modifica di stabilimenti già esistenti. La legge disciplina l'assetto territoriale (Art. 22) ribadendo i criteri di sicurezza e protezione nei confronti dell'ambiente circostante gli stabilimenti, e l'adozione di misure tecniche supplementari per diminuire i rischi da incidente rilevante. Entro un anno dall'entrata in vigore della legge sono adottate con decreto le linee guida relativa alla pianificazione urbanistica nelle suddette aree, che devono comunque tenere presente quanto indicato nel piano di emergenza esterna.

La normativa

Gli stabilimenti definiti a rischio di incidente rilevante sono quelli in cui sono presenti sostanze pericolose in determinate quantità, definite nell'allegato I del decreto. L'Art. 13 del D.Lgs. 105/2015 impone che il gestore dell'impianto presenti notifica alle autorità competenti contenente descrizione delle sostanze utilizzate, attività dell'impianto ed elementi di rischio. Il gestore è inoltre tenuto a redigere un documento che definisce le misure da attuarsi per la prevenzione di incidenti rilevanti, un rapporto di sicurezza⁴ ed un piano di emergenza interno ed esterno. Importante è anche il concetto di effetto domino (Art. 19), che riguarda la possibilità di amplificazione degli effetti a seguito di incidente rilevante legata alla vicinanza ad altri stabilimenti. Per ridurre al più possibile l'effetto domino la normativa impone ai gestori la redazione di un piano di emergenza esterno e lo scambio di informazione con altri gestori.

Per quello che riguarda le competenze, il D.Lgs. 105/2015 delinea le funzioni del Ministero dell'Ambiente⁵ e della Regione, che ha funzione di coordinamento tecnico ed amministrativo dei soggetti coinvolti e del Comitato Tecnico Regionale (CTR), di definizione delle procedure per l'adozione degli interventi di salvaguardia del territorio e di comunicazione con il Ministero. Le funzioni delle Regioni sono riprese dal D.M. 9 maggio 2001, che integra la normativa relativa al rischio di incidente rilevante con le scelte di pianificazione territoriale ed urbanistica: alle Regioni spetta il compito di garantire il coordinamento delle norme in materia di pianificazione urbanistica e territoriale e di tutela ambientale e di assicurare il coordinamento delle procedure di individuazione di aree da destinare agli stabilimenti con quanto previsto dal D.P.R. 447/98⁶ all'Art. 2 (Individuazione delle

⁴ Per gli stabilimenti in cui sono presenti sostanze pericolose a quelle indicate nell'Allegato I

⁵ Le funzioni del Ministero dell'Ambiente riguardano la definizione delle norme tecniche di sicurezza, le modalità di individuazione dei rischi e delle misure di sicurezza da parte del gestore, l'informazione e l'addestramento degli addetti, i criteri di valutazione dei rapporti di sicurezza e di adozione di misure per i diversi tipi di incidente; la comunicazione agli stati membri ed alla Commissione europea; criteri uniformi per l'individuazione dell'effetto domino, delle aree ad elevata concentrazione e delle misure di controllo.

⁶ "Regolamento recante norme di semplificazione dei procedimenti di autorizzazione per la realizzazione, l'ampliamento, la ristrutturazione e la riconversione di impianti produttivi, per l'esecuzione di opere interne ai fabbricati, nonché per la determinazione delle aree destinate agli insediamenti produttivi, a norma dell'articolo 20, comma 8, della legge 15 marzo 1997, n. 59"

aree da destinare a insediamenti produttivi). L'Art. 22 impone infatti che gli strumenti di pianificazione territoriale prevedano opportune distanze tra gli stabilimenti e le zone residenziali e ad uso pubblico, le aree di interesse naturale, le principali vie di trasporto e le aree tutelate ai sensi del Codice dei beni culturali e del paesaggio (D.Lgs. 42/2004), oltre a recepire le valutazioni fornite nei Piani di emergenza esterni prodotti dalla aziende. Alle Province e alle Città Metropolitane spetta il compito di individuare, nell'ambito degli strumenti di pianificazione territoriale, le aree su cui ricadono gli effetti prodotti dagli stabilimenti a rischio, e di disciplinare, nell'ambito della determinazione degli assetti generali del territorio, la relazione degli stabilimenti con gli elementi territoriali ed ambientali vulnerabili, le reti ed i nodi infrastrutturali, di trasporto, tecnologici, ecc..

I Comuni hanno il compito di individuare e disciplinare, attraverso i propri strumenti urbanistici, le aree da sottoporre a specifica regolamentazione, tenendo conto di tutte le problematiche territoriali relative all'area vasta e di predisporre l'Elaborato Tecnico "Rischio di Incidenti Rilevanti - RIR", relativo al controllo dell'urbanizzazione e di trasmettere le informazioni contenute nell'elaborato a tutti gli enti locali territorialmente interessati dagli scenari incidentali.

La Legge Regionale 26/2003 (Disposizioni in materia di pericoli di incidenti rilevanti connessi con determinate sostanze pericolose) e le successive modifiche specificano in dettaglio la funzione di Regione, Province ed Arpae in materia di coordinamento e controllo, la composizione del Comitato tecnico di valutazione dei rischi (CVR), ed il procedimento istruttorio. Tale legge è stata modificata dalle Legge Regionale 9/2016 e dal DGR 1239/2016 di attuazione: la legge ridefinisce le competenze degli enti (con particolare riferimento ad Arpae), la composizione del CVR, recependo le modifiche sancite dal D.Lgs. 105/2015.

La legge prevede la realizzazione di una scheda tecnica da parte degli stabilimenti, contenente le informazioni generali sullo stabilimento e sulle sostanze pericolose, le informazioni per l'identificazione dei pericoli e delle probabilità di accadimento degli incidenti, le soluzioni di emergenza e le informazioni sulla gestione dei sistemi di sicurezza e la valutazione della compatibilità ambientale. Viene previsto l'adeguamento dei Piani Territoriali di Coordinamento Provinciale (PTCP) e dei piani urbanistici generali per le zone interessate da stabilimenti a rischio di incidente rilevante. Viene inoltre prevista l'integrazione della Legge Regionale 20/2000 (con l'articolo A-3bis) con disposizioni specifiche relative alla pianificazione delle zone interessate da stabilimenti a rischio di incidente rilevante, con l'elaborazione dell'area di danno già individuate dal PTCP da recepirsi da parte degli strumenti urbanistici comunali. Le Norme di attuazione del PTCP vigente, all'articolo 9.6, definiscono le direttive generali e precisano i compiti per i Comuni interessati, i quali, in sede di adeguamento del proprio strumento urbanistico, sono tenuti ad aggiornare e verificare le aree di danno sulla base degli atti emanati dalle autorità competenti. Devono inoltre approfondire ed implementare, ai fini della verifica della compatibilità degli stabilimenti, gli elementi di vulnerabilità ambientale e territoriale, in relazione alle caratteristiche del territorio e alle diverse tipologie di scenario incidentale ipotizzate, stabilendo quindi la disciplina di tutela e le eventuali misure di prevenzione e mitigazione per ridurre il danno e per garantire la protezione dell'ambiente e della popolazione.

L'elaborato "Rischio di incidenti rilevanti" (ERIR)

L'ERIR, ai sensi del del D.M. 9 maggio 2001 e del D.Lgs. 105/2015, che individua e disciplina le aree da sottoporre a regolamentazione specifica, è parte integrante dello strumento urbanistico e deve contenere i seguenti dati⁷:

- A. informazioni fornite dal gestore in merito all'analisi incidentale;
- B. individuazione e rappresentazione, su base cartografica tecnica aggiornata, degli elementi territoriali ed ambientali vulnerabili;

⁷ Allegato I del D.M. 9 maggio 2001

- C. rappresentazione, su base cartografica tecnica aggiornata, dell'inviluppo geometrico delle aree di danno per ogni categoria di effetti e per ciascuna classe di probabilità;
- D. individuazione e disciplina delle aree da sottoporre a regolamentazione, risultanti dalla sovrapposizione cartografica degli inviluppi, e degli elementi territoriali ed ambientali vulnerabili precedentemente individuati;
- E. eventuali pareri di autorità competenti (CTR) ed esiti di ispezioni svolte;
- F. eventuali misure che possono essere adottate sul territorio (criteri di pianificazione, creazione di infrastrutture ed opere di protezione).

In relazione ai contenuti che devono essere presenti nell'ERIR, il percorso metodologico si compone di tre fasi:

1. Identificazione degli elementi territoriali ed ambientali vulnerabili ed analisi delle caratteristiche dello stabilimento;
2. Determinazione delle aree di danno;
3. Valutazione della compatibilità Territoriale e ambientale.

Fase uno: identificazione degli elementi ambientali e territoriali vulnerabili

Questa fase è il risultato dell'integrazione delle informazioni fornite dal Gestore nelle schede tecniche presentate ai sensi delle L.R. 26/2003 e successive modifiche ovvero nel rapporto di sicurezza (Art. 8 D.Lgs 334/1999, modificato dall'Art. 4 D.Lgs. 238/2005 e dell'Art. 15 D.Lgs. 105/2015) con i dati reperiti in sede di analisi del territorio.

Secondo quanto espresso nel paragrafo 6.1 dell'Allegato I del D.M. 9 maggio 2001 la vulnerabilità del territorio attorno ad uno stabilimento va effettuata mediante una categorizzazione delle aree circostanti in base al valore dell'indice di edificazione e all'individuazione di specifici elementi vulnerabili di natura puntuale in essi presenti, secondo quanto indicato nella tabella 1 "Categorie Territoriali" allegata al decreto stesso e qui riportata:

Tabella 1. Categorie territoriali

Categoria	Descrizione
A	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aree con destinazione prevalentemente residenziale per cui l'indice fondiario di edificabilità sia $>4,5 \text{ m}^3/\text{m}^2$ 2. Luoghi di concentrazione di persone con limitata capacità di mobilità – ad es. ospedali, case di cura, ospizi, asili, scuole inferiori, ecc. (oltre 25 posti letto o 100 persone presenti) 3. Luoghi soggetti ad affollamento rilevante all'aperto – ad es. mercati stabili o altre destinazioni commerciali, ecc. (oltre 500 persone presenti)
B	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aree con destinazione prevalentemente residenziale per cui l'indice fondiario di edificabilità sia compreso tra $4,5$ e $1,5 \text{ m}^3/\text{m}^2$ 2. Luoghi di concentrazione di persone con limitata capacità di mobilità – ad es. ospedali, case di cura, ospizi, asili, scuole inferiori, ecc. (fino a 25 posti letto o 100 persone presenti) 3. Luoghi soggetti ad affollamento rilevante all'aperto – ad es. mercati stabili o altre destinazioni commerciali, ecc. (fino a 500 persone presenti) 4. Luoghi soggetti ad affollamento rilevante al chiuso – ad es. centri commerciali, terziari e direzionali, per servizi, strutture ricettive, scuole superiori, università, ecc. (oltre 500 persone presenti) 5. Luoghi soggetti ad affollamento rilevante con limitati periodi di esposizione al rischio – ad es. luoghi di pubblico spettacolo, destinati ad attività ricreative, sportive, culturali, religiose, ecc. (oltre 100 persone presenti se si tratta di luoghi all'aperto, oltre 1000 al chiuso) 6. Stazioni ferroviarie ed altri nodi di trasporto (movimento passeggeri superiore a 1.000 persone/giorno)
C	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aree con destinazione prevalentemente residenziale per cui l'indice fondiario di edificabilità sia compreso tra $1,5$ e $1 \text{ m}^3/\text{m}^2$ 2. Luoghi soggetti ad affollamento rilevante al chiuso – ad es. centri commerciali, terziari e direzionali, per servizi, strutture ricettive, scuole superiori, università, ecc. (fino a 500 persone presenti) 3. Luoghi soggetti ad affollamento rilevante con limitati periodi di esposizione al rischio – ad es. luoghi di pubblico spettacolo, destinati ad attività ricreative, sportive, culturali, religiose, ecc. (fino a 100 persone presenti se si tratta di luoghi all'aperto, fino a 1000 al chiuso; di qualunque dimensione se la frequentazione

	<p>è al massimo settimanale)</p> <p>4. Stazioni ferroviarie ed altri nodi di trasporto (movimento passeggeri fino a 1.000 persone/giorno)</p>
D	<p>1. Aree con destinazione prevalentemente residenziale per cui l'indice fondiario di edificabilità sia compreso tra 1 e 0,5 m³/m²</p> <p>2. Luoghi soggetti ad affollamento rilevante con frequentazione al massimo mensile – ad es. fiere, mercatini o altri eventi periodici, cimiteri, ecc.</p>
E	<p>1. Aree con destinazione prevalentemente residenziale per cui l'indice fondiario di edificabilità sia < 0,5 m³/m²</p> <p>2. Insediamenti industriali, artigianali, agricoli e zootecnici</p>
F	<p>1. Area entro i confini dello stabilimento</p> <p>2. Area limitrofa allo stabilimento, entro la quale non sono presenti manufatti o strutture in cui sia prevista l'ordinaria presenza di gruppi di persone</p>

Occorre inoltre tener conto delle infrastrutture di trasporto e dei beni culturali individuati in base alla normativa nazionale (D.Lgs. 42/2004) e regionale o in base alle disposizioni di tutela e salvaguardia contenute nella pianificazione territoriale, urbanistica e di settore.

Ai sensi del punto 6.3.2. del D.M. 9 maggio 2001, per i depositi di GPL e depositi di liquidi infiammabili e/o tossici, la normativa di riferimento è costituita dal D.M. 14 aprile 1994, modificato dal D.M. 15 maggio 1996, il quale identifica 6 categorie territoriali, per le quali sono sommariamente definite le destinazioni d'uso e il carico urbanistico ammesso, nonché altri parametri, quali l'affollamento, anche temporaneo, la presenza di persone con ridotta mobilità, le attività produttive, ecc.

Di seguito si riporta la tabella di cui all'appendice IV, punto 2, del D.M. 15 maggio 1996:

Tabella 2. Categorie territoriali GPL

Categoria	Descrizione
A	<p>1. Zone abitate per le quali l'indice di edificazione esistente, esclusi gli insediamenti a destinazione industriale, sia superiore o uguale a 4,5 m³/m²</p> <p>2. Luoghi di concentrazione di persone con limitata capacità di mobilità ad elevata densità (per es. ospedali, case di cura, ospizi, con più di 25 posti letto - asili, scuole elementari e medie inferiori con più di 100 persone presenti)</p>
B	<p>1. Zone abitate per le quali l'indice reale di edificazione esistente, esclusi gli insediamenti a destinazione industriale, artigianale ed agricola, sia maggiore o uguale a 1,5 m³/m² e minore di 4,5 m³/m²</p> <p>2. Luoghi di concentrazione di persone con limitata capacità di mobilità a densità medio bassa (per es. ospedali, case di cura, ospizi fino a 25 posti letto - asili, scuole elementari e medie inferiori fino a 100 persone presenti)</p> <p>3. locali di pubblico spettacolo all'aperto ad elevato affollamento (più di 500 persone presenti)</p> <p>4. mercati stabili all'aperto ad elevato affollamento (più di 500 persone presenti)</p> <p>5. centri commerciali al coperto aventi superficie di esposizione e vendita superiore a 1.000 m²</p> <p>6. stazioni ferroviarie con un movimento passeggeri superiore a 1.000 persone/giorno</p>
C	<p>1. Zone abitate per le quali l'indice reale di edificazione esistente, esclusi gli insediamenti a destinazione industriale, artigianale ed agricola, sia maggiore o uguale a 1 m³/m² e minore di 1,5 m³/m²</p> <p>2. locali di pubblico spettacolo all'aperto ad affollamento medio/basso (fino a 500 persone presenti)</p> <p>3. scuole medie superiori ed istituti scolastici in genere</p> <p>4. mercati stabili all'aperto ad affollamento medio/basso (fino a 500 persone presenti)</p> <p>5. locali di pubblico spettacolo al chiuso</p> <p>6. centri commerciali al coperto aventi superficie di esposizione e vendita fino a 1.000 m²</p> <p>7. stazioni ferroviarie con un movimento passeggeri compreso tra 100 e 1.000 persone/giorno</p>
D	<p>1. Zone abitate per le quali l'indice reale di edificazione esistente, esclusi gli insediamenti a destinazione industriale, artigianale ed agricola, sia maggiore o uguale a 0,5 m³/m² e minore di 1 m³/m²</p> <p>2. Edifici ed aree soggetti ad affollamenti anche rilevanti ma limitatamente a determinati periodi (per es. chiese, mercatini periodici, cimiteri, etc)</p>

E	1. Aree con insediamenti industriali, artigianali ed agricoli 2. Zone abitate con densità reale di edificazione esistente inferiore a 0,5 m ³ /m ² . L'area rispetto alla quale valutare detta densità è quella interessata dalla categoria di effetti considerata, in accordo alle indicazioni di cui al successivo paragrafo 3
F	1. Area entro i confini dello stabilimento 2. Area limitrofa allo stabilimento, entro la quale non sono presenti manufatti o strutture in cui sia presente l'ordinaria presenza di gruppi di persone

Sulla base dei riferimenti normativi (Art. 3 D.M. 9 maggio 2001, Art. 12 L.R. 26/2003 e 4/2007) il PTCP ha individuato i principali elementi territoriali ed ambientali vulnerabili, selezionati anche in relazione alle peculiarità del territorio e alle diverse aree di tutela individuate⁸.

Fase due: determinazione delle aree di danno

Questa fase è il prodotto delle attività di sovrapposizione cartografica delle aree di danno, come identificate dalle disposizioni ufficiali degli organi competenti, con la rappresentazione degli elementi territoriali ed ambientali vulnerabili identificati nell'intorno.

Il danno a persone o strutture è correlabile all'effetto fisico di un evento incidentale mediante modelli di vulnerabilità più o meno complessi. Per le valutazioni in oggetto la possibilità di danni a persone o strutture è definita sulla base del superamento dei valori di soglia espressi nella tabella di cui all'allegato del D.M. 9 maggio 2001 e qui riportati:

Tabella 3. Valori di soglia

Scenario incidentale	Elevata letalità	Inizio letalità	Lesioni irreversibili	Lesioni reversibili	Danni alle strutture / Effetti domino (*)
	1	2	3	4	5
Incendio (radiazione termica stazionaria) (kW/m ²)	12,5	7	5	3	12,5
BLEVE ⁹ /Fireball (radiazione termica variabile) (kJ/m ²)	Raggio fireball	350	200	125	200-800 (*)
Flash-fire (radiazione termica istantanea)	LFL ¹⁰	½ LFL			
VCE ¹¹ (sovrappressione di picco) (bar)	0,3 0,6 (spazi aperti)	0,14	0,07	0,03	0,3
Rilascio tossico (dose assorbita)	LC50 (30 min,hmn)		IDLH		

(*) Secondo la tipologia del serbatoio

Le zone di danno sono descritte nel DPCM del 25/02/2005 (Linee Guida per la predisposizione del piano d'emergenza esterna di cui all'articolo 20, comma 4, del decreto legislativo 17 agosto 1999, n. 334), suddivise secondo il tipo di impatto sul territorio:

⁸ Cfr. § 3.

⁹ Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion: esplosione di vapori diffusi dal liquido bollente

¹⁰ Lower Flammability Limit (Limite Inferiore di Infiammabilità) (% in volume): la minima concentrazione di combustibile nella miscela aria-combustibile che consente a quest'ultima, se innescata, di reagire dando luogo ad una fiamma in grado di propagarsi a tutta la miscela

¹¹ Vapour Cloud Explosion: esplosione della nube di vapore causata dall'accensione di una nube di gas/vapore infiammabile in miscela con l'aria in ambiente non confinato

1. Zona I (soglia elevata letalità): zona di sicuro impatto;
2. Zona II (soglia lesioni irreversibili): zona di danno;
3. Zona III: zona di attenzione caratterizzata dal possibile verificarsi di danni, generalmente non gravi.

L'ampiezza di tali zone va ricompresa nel Piano di Emergenza Esterno e tenuta in considerazione in sede di pianificazione.

In questa fase sono state realizzate le schede riassuntive riferite agli stabilimenti oggetti di studio e l'identificazione degli elementi territoriali ed ambientali vulnerabili ai sensi del PTCP vigente.¹²

Si è poi proceduto a valutare la compatibilità territoriale ed ambientale, e a realizzare una cartografia che localizza le informazioni riportate relative agli stabilimenti ed alle vulnerabilità del territorio.

Fase tre: valutazione della compatibilità territoriale ed ambientale

Questa fase consente di determinare gli usi compatibili del territorio circostante con la presenza dello stabilimento e di predisporre la specifica regolamentazione. La valutazione della compatibilità viene formulata dalle autorità competenti sulla base delle informazioni fornite dal gestore¹³, opportunamente rielaborate ed integrate con altre informazioni pertinenti.

La compatibilità dello stabilimento con il territorio circostante si valuta sovrapponendo i tipi di insediamento, categorizzati nella tabella 1 "Categorie territoriali", con l'involuppo delle aree di danno così come indicato nella seguente tabella 4 (che riproduce la tabella 3a del D.M. 9 maggio 2001):

Tabella 4. Categorie territoriali compatibili

Classe di probabilità degli eventi	Categoria di effetti			
	Elevata letalità	Inizio letalità	Lesioni irreversibili	Lesioni reversibili
<10 ⁻⁶	DEF	CDEF	BCDEF	ABCDEF
10 ⁻⁴ - 10 ⁻⁶	EF	DEF	CDEF	BCDEF
10 ⁻³ - 10 ⁻⁴	F	EF	DEF	CDEF
>10 ⁻³	F	F	EF	DEF

Nel caso di depositi di GPL ci si avvale dei criteri di valutazione della compatibilità territoriale definiti dal D.M. 14 aprile 1994 e modificato dal D.M. 15 maggio 1996 (Appendice IV) riportati nella seguente tabella:

Tabella 5. Categorie territoriali compatibili (GPL)

Classe del deposito	Categoria di effetti			
	Elevata letalità	Inizio letalità	Lesioni irreversibili	Lesioni reversibili
I	DEF	CDEF	BCDEF	ABCDEF
II	EF	DEF	CDEF	BCDEF
III	F	EF	DEF	CDEF
IV	F	F	EF	DEF

La Pianificazione Territoriale e Urbanistica

Il tema del controllo del territorio per le zone interessate da stabilimenti a rischio di incidente rilevante

¹² Cfr. cap. 3

¹³ Cfr. D.M. 9 maggio 2001, Allegato I, § 6.3. Per gli stabilimenti di soglia superiore il CTR valuta il rapporto di sicurezza fornito dal gestore per il rilascio del nulla osta di fattibilità, come disciplinato dall'Art. 17 del D.Lgs. 105/2015

è trattato negli atti di Pianificazione Territoriale della attuale Città Metropolitana e di Pianificazione Urbanistica del Comune di Bologna. Di seguito si riepilogano gli elaborati degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica nei quali viene trattato il tema degli stabilimenti a rischio di incidente rilevante. Il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) è stato approvato dal Consiglio Provinciale con delibera n. 19 del 30/03/04¹⁴. Il PTCP tratta il tema degli stabilimenti a rischio di incidente rilevante nei seguenti documenti:

1. *Quadro conoscitivo, Sezione C (Il sistema territoriale, § C.1.4, “Ambiti specializzati per attività produttive”).*

Con riferimento al D.Lgs. 334/99 vengono elencate le principali vulnerabilità territoriali ed ambientali in un contesto più esteso rispetto alla massima area di danno, al fine di rendere tutelate al meglio tutte le aree sensibili. I principali elementi di vulnerabilità sono elencati nella tabella sottostante:

Tabella 6. Vulnerabilità del territorio (PTCP)

Poli specializzati integrati	- esistenti - potenziali - di progetto
Servizi sanitari e scolastici	- servizi sanitari/socio-sanitari - servizi scolastici e pre-scolastici
Strutture commerciali	- grandi strutture di vendita esistenti e programmate
Sistema delle infrastrutture per la mobilità	- caselli autostradali (esistenti e di progetto) - principali svincoli esistenti e di progetto della Grande Rete - principali parcheggi scambiatori - stazioni e fermate del Servizio Ferroviario Metropolitano - linee servite dal Servizio Ferroviario Metropolitano - progetto Fs “Alta Velocità” - autostrade esistenti ed in corso di realizzazione - grande rete di collegamento nazionale-regionale (tratti da esistenti o da potenziare in sede e tratti da realizzare ex-novo) - rete di base regionale (tratti da esistenti o da potenziare in sede e tratti da realizzare ex-novo) - principale viabilità urbana - viabilità extraurbana secondaria (tratti esistenti, da potenziare o da realizzare ex novo) - viabilità locale
Reti tecnologiche	linee e cabine ad alta tensione
Centri urbani	
Sistema idrografico	- alvei attivi e invasi dei bacini idrici - fasce di tutela fluviale - fasce di pertinenza fluviale - aree ad alta probabilità di inondazione - aree a rischio di esondazione - in caso di eventi con tempo di ritorno di 200 anni - aree, terrazzi-conoidi ad alta/elevata vulnerabilità dell’acquifero - zone umide - pozzi idropotabili e relative aree di tutela
Sistema provinciale delle	- parchi regionali

¹⁴ Il Piano è stato modificato a seguito delle seguenti varianti: Variante al PTCP sul sistema della mobilità provinciale (Delibera del Consiglio Provinciale n. 29 del 31/03/2009), Variante al PTCP in materia di insediamenti commerciali (POIC) (Delibera del Consiglio Provinciale n. 30 del 07/04/2009), Variante al PTCP in recepimento del Piano di Tutela delle Acque (PTA) della Regione (Delibera del Consiglio Provinciale n. 15 del 04/04/2011), Variante non sostanziale al PTCP per il recepimento dei Piani Stralcio per i Bacini dei Torrenti Samoggia e Senio e aggiornamenti-rettifiche di errori materiali (Delibera del Consiglio Provinciale n. 27 del 25/06/2012), Variante al PTCP per modifica puntuale della perimetrazione delle zone di protezione delle acque sotterranee nel territorio pedecollinare e di pianura (tav 2B) (Delibera del Consiglio Provinciale n. 36 del 24/06/2013), Variante al PTCP in materia di riduzione del rischio sismico (Delibera del Consiglio Provinciale del n. 57 del 28/10/2013).

aree naturali protette	- parchi provinciali - riserve naturali regionali - aree di riequilibrio ecologico
Sistema Rete Natura 2002	- ZPS (Zone di Protezione Speciale) - SIC (Siti di Importanza Comunitaria)
Altri sistemi ed elementi naturali e paesaggistici	- Zone di particolare interesse paesaggistico ambientale - Zone di tutela naturalistica - Zone di particolare interesse paesaggistico ambientale della pianura (nodi ecologici complessi e relative zone di rispetto, corridoi ecologici)
Uso del suolo	- zone umide e corsi d'acqua - aree boschive - aree agricole - territorio urbanizzato

2. *Quadro conoscitivo, Sezione D (Protezione civile e prevenzione dei rischi, § D.6.3 "Industrie a rischio incidente rilevante")*

Nel capitolo vengono riassunte le normative vigenti e gli stabilimenti esistenti assoggettati alla normativa.

3. *Quadro conoscitivo, Allegati tematici, Sezione C (Il sistema territoriale – C.1 Il sistema insediativo - C.1.4 Ambiti specializzati per attività produttive)*

Nelle tavole C.1.4.2.1 e C.1.4.2.2 e relative schede vengono localizzati gli stabilimenti a rischio incidente rilevante ai sensi del D.Lgs. 334/99 in relazione ai principali elementi di vulnerabilità ambientali e territoriali indicati nel Quadro Conoscitivo.

4. *Relazione, Sezione A (Politiche riferite agli obiettivi di qualità ambientale, § A.2.11 "Stabilimenti a rischio di incidente rilevante")*

Nel paragrafo viene illustrata la normativa vigente e le funzioni dei diversi enti; vengono poi riassunti i vari stabilimenti presenti sul territorio provinciale e gli obiettivi specifici come descritti dal D.M. 9 maggio 2001 (pianificazione volta alla minimizzazione dei danni per la popolazione, concertazione fra i soggetti coinvolti, politiche di informazione).

5. *Relazione, Allegato 5 (Individuazione delle aree di danno per gli stabilimenti a rischio di incidente rilevante rientranti nel campo di applicazione del DM.LL.PP. 09/05/01)*

6. *Norme di attuazione, Art. 9.6 (Disposizioni in materia di stabilimenti a rischio di incidente rilevante)*

L'Art. 9.6 identifica, per il territorio provinciale, i seguenti elementi principali di vulnerabilità già inseriti nel Quadro conoscitivo:

- Il sistema idrografico
- Il sistema provinciale delle aree naturali protette
- Il sistema Rete Natura 2000
- Altri sistemi, zone ed elementi naturali e paesaggistici
- L'uso del suolo
- I poli specializzati integrati (esistenti, potenziali e di progetto)
- I servizi sanitari e scolastici
- Le strutture commerciali (intese come grandi strutture di vendita)
- Il sistema infrastrutturale per la mobilità
- Le reti tecnologiche (linee e cabine di trasformazione ad alta tensione)

L'articolo demanda poi ai Comuni interessati la verifica, l'approfondimento e l'implementazione degli elementi di vulnerabilità "in relazione alle caratteristiche del territorio e alle ipotetiche conseguenze derivanti dalle diverse tipologie di scenario incidentale e di sostanza pericolosa coinvolta, stabilendone nel contempo la disciplina di tutela e le eventuali misure di prevenzione e mitigazione atte a ridurre il danno e a garantire la protezione dell'ambiente e della popolazione".

7. Norme di attuazione, Allegato O

L'allegato recepisce quanto disciplinato dal Piano di Tutela delle Acque (PTA), approvato con Delibera n. 40 dell'Assemblea legislativa regionale il 21 dicembre 2005, e contiene alcune prescrizioni per le aziende a rischio di incidente rilevante che svolgono attività di deposito di concimi chimici a base di nitrati e fosfati e di fitofarmaci con potenzialità globale superiore a 500 quintali, al fine di tutelare le acque sotterranee e la captazione delle acque superficiali.

Il Piano Strutturale Comunale (PSC) è stato approvato dal Consiglio comunale con Delibera 133 del 14/07/2008, ed è entrato ufficialmente in vigore il 10 settembre 2008. Il Quadro normativo approvato, all'Art. 15, prevede, fra i vincoli presenti sulla Carta Unica del Territorio, quelli legati alle aziende a rischi incidente rilevante¹⁵ ai sensi del D.Lgs. 334/99 e simili, del D.M. 9 maggio 2001, del D.M. 14 aprile 1994, Criteri di analisi e valutazione dei rapporti di sicurezza relativi a depositi di gas di petrolio liquefatto ai sensi dell'Art. 12 del D.P.R. 175/88 e simili e della L.R. 26/03: *“Ai sensi dell'Art. 4 del D.M. 9 maggio 2001 e ai sensi del D.M. 14 aprile 1994 come modificato dal D.M. 15 maggio 1996, al fine di individuare e disciplinare le aree su cui ricadono gli effetti degli stabilimenti a rischio di incidente rilevante, di cui all'Art. 2, comma 1 del D.Lgs 334/99 e s.m.i., il PSC riporta l'involuppo delle aree di danno in prossimità di stabilimenti a rischio di incidente rilevante, interessate dalle possibili tipologie incidentali tipiche dello stabilimento e individuate sulla base di valori di soglia oltre i quali si manifestano letalità, lesioni o danni. La specificazione e l'approfondimento dei contenuti e la verifica della compatibilità ambientale e territoriale è definita dall'elaborato tecnico "Rir", parte integrante del Quadro conoscitivo del PSC. Il Rir è soggetto a modifiche e integrazioni a seguito di procedimenti ai sensi dell'Art. 21 del D.Lgs 334/1999 e dell'Art. 5 della L.R. 26/2003.”*

Il PSC rimanda al RUE ed al POC la definizione degli usi del suolo ammissibili all'interno delle aree di danno da incidente rilevante; li possono essere previsti accorgimenti ambientali o edilizi i quali, in base allo specifico scenario incidentale ipotizzato, riducano la vulnerabilità delle costruzioni consentite, ai sensi del D.M. 9 maggio 2001 e dal D.M. 14 aprile 1994¹⁶ (così come modificato dal D.M. 15 maggio 1996).

Il RUE tratta le aziende a rischio incidente rilevante per tutti gli aspetti che riguardano gli usi ammissibili negli ambiti identificati.

L'Art. 30 prescrive che venga rilasciata una dichiarazione che l'attività soggetta a verifica di ammissibilità urbanistica non rientri fra quelle a rischio incidente rilevante; tale prescrizione riguarda tutti i progetti di insediamento di un uso in un Ambito assoggettabili a verifica (nuova costruzione, interventi di ristrutturazione che comportino variazione dell'uso, interventi di mutamento di destinazione d'uso senza opere, interventi di ristrutturazione su edifici che ospitano usi esclusi legittimamente insediati).

Non ultimo, gli stabilimenti a rischio incidente rilevante sono descritti e censiti anche nel “Piano comunale della Protezione Civile”¹⁷, che prevede anche le misure comportamentali in caso di incidente rilevante.

Gli stabilimenti a rischio di incidente rilevante nel Comune di Bologna

Sulla base dei dati aggiornati al marzo 2015 nel Comune di Bologna sono presenti due stabilimenti a rischio di incidente rilevante, la BEYFIN SpA – Div. Sungas Media e la EMILGAS Srl Media, entrambe depositi di GPL. Da segnalare, inoltre, la presenza dello stabilimento Baschieri&Pellagri SpA per la fabbricazione di prodotti esplosivi sito nel Comune di Castenaso (BO), località Marano, le cui aree di danno interessano in parte il territorio comunale di Bologna.

¹⁵ Gli altri vincoli riguardano: Aeroporto ed eliporti, Ferrovie, Strade; Gasdotti, Depuratore, Cimiteri, Aree percorse da incendi, Siti contaminati, Servitù militari, Elettrodotti ad alta e media tensione, Cabine ad alta e media tensione, Emittenza radiotelevisiva, Impianti fissi di telefonia mobile.

¹⁶ Categorie territoriali ammesse, tabelle 3a e IV/2, riportate nelle Tabelle 4 e 5 del presente elaborato.

¹⁷ § 2.7 (Rischio chimico-industriale) e Tavola 4

L'identificazione degli elementi ambientali e territoriali vulnerabilità ha seguito i criteri identificati dal PTCP. Per ogni impresa è stata predisposta una scheda tematica ed una valutazione della compatibilità territoriale. La scheda si basa sui rapporti di notifica e sulle schede tecniche forniti dai gestori degli stabilimenti e sulla valutazione delle schede tecniche realizzate da Arpae.

1. BEYFIN SpA – DIVISIONE SUNGAS

Società	Beyfin SpA
Indirizzo	Via Vingone 95 – 50013 Campi Bisenzio (FI)
Stabilimento	Beyfin SpA – Divisione SUNGAS
Indirizzo	Via Persicetana Vecchia, 25 – 40100 Bologna (BO)
Coordinate	Latitudine (N): 44° 31' 43" - Longitudine (E): 11° 16' 21"
Classe	I (secondo il Metodo Indicizzato ai sensi dei DD.MM. 14/04/94 e 15/05/96)
Attività	Stoccaggio di GPL
Principali sostanze detenute	Gas di petrolio liquefatto

Descrizione dello stabilimento e delle attività

La Beyfin SpA - Divisione Sungas sita nello stabilimento di Bologna esplica la propria attività di deposito, travaso, imbottigliamento e commercializzazione di GPL. Adiacente al deposito è presente un distributore di carburanti (benzina, gasolio, gpl), sempre di proprietà della Beyfin SpA.

La tecnologia adottata nel deposito è quella dello stoccaggio in pressione in equilibrio con la temperatura. Il GPL arriva in deposito mediante autobotti e viene travasato nei serbatoi tramite compressori o pompe, dai quali è successivamente inviato all'imbottigliamento o al carico delle botticelle per essere commercializzato. Il deposito è costituito dalle seguenti installazioni:

- 2 serbatoi di stoccaggio;
- 1 sala pompe e compressori GPL per la movimentazione del prodotto;
- 1 punto di travaso con attacco singolo;
- 1 locale imbottigliamento e deposito bombole vuote;
- 1 zona deposito serbatoi e bombole vuote e bonificate;
- 1 zona di sosta di autobotti e botticelle;
- locali accessori;
- uffici.

La quantità massima detenuta di gas è dichiarata pari a 55,25 tonnellate. Lo stabilimento ricade nella categoria di stabilimenti a soglia inferiore. Con riferimento all'anno solare 2015 il movimentato di GPL è stato di 2800 tonnellate ingresso e 2675 tonnellate in uscita.

Elementi di vulnerabilità ambientale e territoriali

Lo stabilimento è ubicato in una zona industriale – artigianale nel quartiere Borgo Panigale, e si colloca fra l'aeroporto ed il sistema tangenziale-autostrada. Lo stabilimento è delimitato da via Persicetana Vecchia ad est, a sud e a ovest da terreni attualmente incolti. L'unica via di accesso al deposito è la strada sopra citata; lo stabilimento è delimitato in tutto il restante perimetro da strade non carrabili. Gli elementi di vulnerabilità territoriale individuati nell'ambito circostante sono i seguenti:

- elettrodotto a circa 100 metri;
- autostrada (A14) a circa 150 metri;

- tangenziale Nord a circa 480 metri;
- linea ferroviaria Milano – Bologna a circa 400 metri;
- linea ferroviaria Bologna – Verona a circa 450 metri;
- aeroporto a circa 1100 metri;
- Strada Provinciale di Crevalcore (SP568) e relativo cavalcavia a circa 410 metri;
- Strada Statale 9 a circa 1000 metri;
- centro abitato a circa 550 metri;
- servizi ospedalieri/sanitari a circa 500 metri (nord) e 800 metri (sud);
- impianti sportivi a circa 700 metri;
- servizi scolastici a circa 700 metri;
- complesso di interesse documentale (Villaggio INA) e luogo di culto a circa 700 metri;
- centro commerciale a circa 1000 metri.

Gli elementi di vulnerabilità ambientale individuati nell'ambito circostante sono i seguenti:

1. corridoio ecologico locale: è in progetto la realizzazione di un corridoio ecologico che corre lungo il confine ovest e sud del comparto;
2. connettivo ecologico diffuso: a circa 150 metri (sud) e a 400 metri (est).

Scenari incidentali e stima delle conseguenze

L'attività svolta nello stabilimento è soggetta ai seguenti rischi incidentali:

a) Rottura maggiore su fase liquida: rottura su tubazione (DN 80), rottura o perdite da valvole e/o macchine, sfioro per sovrariempimento del serbatoio, infragilimento per bassa temperatura;

b) Rottura maggiore su fase gas: rotture su linee (DN 50 max), rottura su manichetta, rottura di valvole e/o macchine;


c) Rottura di un braccio di travaso dell'autobotte;

d) Rottura minore su fase liquida o gassosa: perdita da forature, tenute linee; rottura flessibile; imbottigliamento; perdite durante i drenaggi; rottura e/o foratura su recipiente mobile; perdita da tenute di pompe e/o compressori;

e) Mancata tenuta della valvola di sicurezza.

L'azienda ha individuato 8 top events, 2 dei quali due determinano conseguenze esterne ai confini dello stabilimento.


Top event	Descrizione	Frequenza/anno	Evento	LFL	½ LFL
				(m) Elevata letalità	(m) Inizio letalità
1	Rottura maggiore su fase liquida (Linea da 3" in zona serbatoi)	2,63E-6	Flash/pool fire	69(76)	91(98)
2	Rottura maggiore su fase gas (Linea da 2" da compressore ad autobotte)	1,48E-6	Flash fire/jet fire	8(8)	25(25)
3	Rottura braccio di travaso (punto di travaso autobotte)	2,09E-7	Flash fire	44(48)	60(67)
4a	Rottura minore (fase liquida) (Linea mandata pompe)	9,20E-6	Flash fire/jet fire	8(8)	12(12)
4b	Rottura minore (fase gas) (Linea mandata compressore)	9,20E-6	Flash fire/jet fire	3(3)	5(5)
5a	Scarico da valvola di sicurezza serbatoio	5,26E-5	Jet fire		
5b	Scarico da valvola di sicurezza compressore	1,52E-6	Jet fire		

6	Fessurazione serbatoio per infragilimento (Foro da 1")	1,48E-10	Flash fire	11(5)	10(20)
 Fonte: Scheda tecnica (LR 26/2003, Art. 6) presentata ad Arpae il 16 dicembre 2016 e PEE (2012)					

Nota: i numeri tra parentesi considerano si riferiscono alla condizione più sfavorevole considerando anche la variabile meteo

Compatibilità ambientale e territoriale

Il Piano di Emergenza Esterna (PEE) e la valutazione conclusiva identificano il top event n. 1 come il maggiormente gravoso le cui aree di danno ricomprendono tutti gli scenari dei vari top events: per la zona I e II (elevata e inizio letalità) sono considerate rispettivamente le distanze di 76 e 98 metri.

Evento incidentale	Scenario incidentale	Aree di danno	
		Elevata letalità (Zona I) - LFL	Inizio letalità (Zona II) - ½ LFL
Rilascio di GPL (propano) per rottura maggiore su fase liquida	Flash Fire (nube infiammabile)	76 m	98 m
Categorie territoriali		EF	DEF
 Fonte: Conclusione del procedimento di valutazione della scheda tecnica - Determina della Provincia di Bologna (PG. 147372/2011)			

Da una sovrapposizione delle aree di danno con le previsioni del PSC, è risultato che tali aree ricadono negli seguenti ambiti:

- A. Territorio urbano strutturato- Ambito consolidato di qualificazione diffusa specializzato, n. 104 Bargellino (Quadro Normativo, Artt. 21 e 23);
- B. Territorio urbano da strutturare - Ambito in trasformazione specializzato, n. 132 Borgo Panigale -Zona industriale-artigianale di espansione P4 (Quadro Normativo, Artt. 17 e 20).

Per quello che riguarda le vulnerabilità territoriali, si segnala la prossimità di un elettrodotto in stretta prossimità (circa 10 metri) dell'area di danno di inizio letalità; un tratto della strada di accesso allo stabilimento (Via Persicetana), lungo circa 63 metri, è ricompreso all'interno dell'area di elevata letalità. All'interno dell'area di inizio letalità sono invece ricompresi un tratto di via Persicetana di circa 70 metri, e parte di 3 edifici industriali prospicienti lo stabilimento. Per quello che riguarda le vulnerabilità ambientali, si segnala la presenza di un tratto di corridoio ecologico in progetto che dovrebbe costeggiare i confini a sud e a ovest dello stabilimento, ricadendo all'interno dell'area di danno ad elevata letalità.

In base alla ricognizione effettuata si può concludere che l'area in cui è ubicato il deposito risulta di categoria E per tutte le aree di danno, pertanto si può affermare che *lo stabilimento risulta compatibile con il territorio circostante. Eventuali interventi urbanistici ed edilizi che interesseranno le porzioni di territorio interne alle linee di isodanno, devono essere compatibili con le tipologie corrispondenti alle categorie territoriali riportate nella tabella IV/2 del DM 14/04/1994 (così come modificato dal DM 15/05/96).*¹⁸ *La compatibilità territoriale allo stato di fatto dell'impianto come definito nei provvedimenti conclusivi deve essere garantita anche in futuro. Tutte le varianti che interessano interventi ricadenti nelle zone di danno da incidente rilevante, dovranno acquisire il parere del Comitato di valutazione regionale ai sensi della L.R. 26/2003 e successive modifiche (Art. 13).*

¹⁸ Si veda la tabella 5 del presente documento.

2. L'EMILGAS Srl

Società	L'EMILGAS Srl
Indirizzo	Via Quarto di Sopra, 1 - 40100 Bologna (BO)
Stabilimento	L'EMILGAS Srl
Indirizzo	Via Quarto di Sopra, 1 - 40100 Bologna (BO)
Coordinate	Latitudine (N): 44° 31' 26" - Longitudine (E): 11° 24' 42"
Classe	I (secondo il Metodo Indicizzato ai sensi dei DD.MM. 14/04/94 e 15/05/96)
Attività	Produzione, imbottigliamento e distribuzione all'ingrosso di gas di petrolio liquefatto (GPL), Stoccaggio di GPL
Principali sostanze detenute	Gas liquefatti infiammabili

Descrizione dello stabilimento e delle attività

Lo stabilimento L'EMILGAS Srl svolge l'attività di produzione, imbottigliamento, stoccaggio e distribuzione all'ingrosso di GPL.

Il deposito è costituito dalle seguenti installazioni:

- locale con pompe e compressori GPL;
- punto di stoccaggio di GPL in 3 serbatoi tumulati, ognuno di capienza di 200 m³;
- 2 punti di travaso e carico delle botticelle;
- punti di carico e scarico ATB;
- deposito bombole piene e vuoti annessi al reparto imbottigliamento;
- deposito all'aperto di pieni e vuoti non bonificati e pallettizzati in gabbie;
- locale di imbombolamento GPL, sia manuale che con giostra automatica;
- edificio con officina e spogliatoio;
- edificio con uffici.

La quantità massima detenuta di gas è dichiarata pari a 330 tonnellate. Lo stabilimento ricade nella categoria di stabilimenti a soglia superiore.

Elementi di vulnerabilità ambientale e territoriali

Lo stabilimento è ubicato a nord-est della città, in una zona periferica con presenza prevalente di terreni agricoli ed edifici. Lo stabilimento è delimitato a nord da via Quarto di Sopra (strada di accesso allo stabilimento), da via della Canapa ad ovest e sugli altri lati da terreni agricoli. Gli elementi di vulnerabilità individuati nell'ambito territoriale circostante sono i seguenti:

- Strada provinciale SP5 San Donato a circa 80 metri;
- Scalo merci ferroviario a circa 1300 metri;
- CAAB (polo specializzato integrato) a circa 300 metri;
- Università di Agraria a circa 870 metri;
- scuole dell'infanzia "La Farfalla" e "La Mela" a circa 900 metri;
- scuola dell'infanzia "Ada Negri" a circa 1500 metri;
- centro commerciale Meraville a circa 1200 metri;
- case e nuclei abitativi sparsi compresi in un raggio di 70 metri e 2000 metri circa;
- abitato e attività di ristorazione ubicati su via San Donato a circa 100 metri;
- centro abitato (Comune di Granarolo Emilia - Quarto Inferiore) a circa 800 metri;
- centro abitato (Comune di Bologna - Quartiere San Donato) a circa 1.450 metri;
- Chiesa di S. Andrea a circa 480 metri;
- attività industriali e di terziario comprese in un raggio di 400 metri e 2000 metri circa;
- impianto di smaltimento rifiuti e sede direzionale a circa 1300 metri.

Gli elementi di vulnerabilità ambientale individuati nell'ambito circostante sono i seguenti:

1. Scolo Zenetta di Quarto a circa 600 metri;
2. acquifero superficiale al di sotto dello stabilimento (2 metri circa).

Scenari incidentali e stima delle conseguenze

L'attività svolta nello stabilimento è soggetta ai seguenti rischi incidentali:

- a) Rilascio di gas dalla parte superiore del serbatoio;
- b) Rilascio di liquido dalla parte inferiore del serbatoio;
- c) Rilascio di liquido da tubazione di collegamento della fase liquida ai serbatoi;
- d) Rilascio di liquido per perdita dal braccio di carico del liquido durante le operazioni di travaso;
- e) Rilascio di gas per perdita dalla manichetta di carico del gas durante le operazioni di travaso;
- f) Rilascio di liquido da pompa;
- g) Rilascio di gas da compressore;
- h) Rilascio di liquido durante le operazioni di imbottigliamento;
- i) Rilascio di gas da bombola.

Secondo quanto riportato nella notifica presentata nel 2016, l'azienda ha individuato 9 top events, 3 dei quali due determinano conseguenze esterne ai confini dello stabilimento (n. 2.2 e 4).

Top event	Descrizione	Evento	Zone di danno (m)		
			I	II	III
1.2	Rilascio di liquido dalla parte inferiore del serbatoio	Flash fire	138	200	0
1.3	Rilascio di liquido da tubazione di collegamento della fase liquida ai serbatoi	Jet fire	35	52	65
1.3	Rilascio di liquido da tubazione di collegamento della fase liquida ai serbatoi	Flash fire	39	81	0
2.1	Rilascio di liquido per perdita dal braccio di carico del liquido durante le operazioni di travaso	Jet fire	49	73	90
2.2	Rilascio di gas per perdita dalla manichetta di carico del gas durante le operazioni di travaso	Jet fire	0	0	18
3.1	Rilascio di liquido da pompa	Jet fire	0	61	77
3.2	Rilascio di gas da compressore	Jet fire	0	61	77
4	Rilascio di liquido durante le operazioni di imbottigliamento	Jet fire	0	18	22
		Flash fire	0	18	0



Fonte: Notifica presentata il 26 luglio 2016

Il PEE e la valutazione del CVR confermano quanto segnalato nella notifica ed identificano il *top event* 1.2 come il più gravoso:

Top event	Descrizione	Frequenza / anno		Distanze di danno			
		Jet fire	Evento	12,5 kw/m ²	7 kw/m ²	5 kw/m ²	3 kw/m ²
		Flash fire		LFL (m)	½ LFL (m)		
1.1	Rilascio di gas dalla parte superiore del serbatoio	1,72E-4	Jet fire	26,2	26,4	26,5	31
1.2	Rilascio di liquido dalla parte	1,65E-7	Flash fire	135,4	200,2		

	inferiore del serbatoio						
1.3	Rilascio di liquido da tubazione di collegamento della fase liquida ai serbatoi	3,9E-7	Jet fire	47,6	48,3	49	56,2
2.1	Rilascio di liquido per perdita dal braccio di carico del liquido durante le operazioni di travaso	2,84E-8	Flash fire	69	128,5		
2.2	Rilascio di gas per perdita dalla manichetta di carico del gas durante le operazioni di travaso	2,84E-8	Jet fire	49,5	49,6	50	58,7
3.1	Rilascio di liquido da pompa	2,4E-8	Jet fire	19,6	19,8	19,9	23,5
3.2	Rilascio di gas da compressore	2E-8	Jet fire	57,7	57,9	58,5	69
4	Rilascio di liquido durante le operazioni di imbombolamento	6,36E-5	Jet fire	57,7	57,9	58,5	69
		6,36E-7	Flash fire	17,9	18	18,1	21,3
5	Rilascio di gas da bombola	7E-6	Jet fire	6,1	6,2	6,3	7,3



Fonte: Conclusione del procedimento di valutazione della scheda tecnica, Delibera PG 17593/2011 e PEE (2014)

Compatibilità ambientale e territoriale

La valutazione conclusiva esplicita le categorie territoriali compatibili con la classe dello stabilimento.

Evento incidentale	Scenario incidentale	Aree di danno	
		Elevata letalità (LFL) (m)	Inizio letalità (½ LFL) (m)
Rilascio di liquido dalla parte inferiore del serbatoio	Flash Fire	135	200
Categorie territoriali		EF	DEF



Fonte: Conclusione del procedimento di valutazione della scheda tecnica - Delibera (PG. 17593/2011)

Da una sovrapposizione delle aree di danno con le previsioni del PSC, è risultato che tali aree ricadono negli seguenti ambiti:

- Territorio urbano da strutturare - Ambito per nuovi insediamenti specializzato, n. 151 Quarto Superiore (polo funzionale) (Quadro Normativo, Artt. 17 e 18);
 - B) Territorio urbano da strutturare - Ambito in trasformazione specializzato, n. 133 (CAAB). Nel 2015 l'area del CAAB è stata oggetto di accordo di programma in variazione alla pianificazione territoriale e urbanistica territoriale, ai sensi dell'Art. 40 della L.R. N.20/2000, tra la Regione Emilia-Romagna, la Città Metropolitana di Bologna, il Comune di Bologna, CAAB e Prelios SGR, per l'attuazione del progetto Fabbrica Italiana Contadina (F.I.Co.).
 - Territorio rurale - Ambito agricolo di rilievo paesaggistico (Quadro Normativo, Artt. 28 e 30).
- Per quello che riguarda le vulnerabilità territoriali si segnala che:

- lo stabilimento ricade all'interno del perimetro di un polo funzionale. Non vi sono comunque edifici afferenti polo funzionale ricompresi all'interno delle aree di danno;
- all'interno dell'area di elevata letalità sono ricomprese via San Donato per un tratto di circa 230 metri, considerata una strada di attestamento e attraversamento urbano, e via della Canapa, per un tratto di circa 125 metri. All'interno dell'area di inizio letalità sono ricomprese via San Donato per un tratto di circa 130 metri, e via della Canapa per un tratto di circa 85

- metri;
3. all'interno dell'area di elevata letalità è ricompreso un edificio residenziale;
 4. all'interno dell'area di inizio letalità sono presenti 4 edifici residenziali ed un esercizio di ristorazione.

Per quello che riguarda le vulnerabilità ambientali, si segnala la presenza di un tratto di corridoio ecologico in progetto che dovrebbe costeggiare i confini a nord dello stabilimento, ricadendo all'interno dell'area di danno ad elevata letalità, e la presenza di un corridoio ecologico esistente in stretta prossimità dell'area di inizio letalità.

In base alla ricognizione effettuata si può concludere che l'area in cui è ubicato il deposito risulta di categoria E per tutte le aree di danno, pertanto si può affermare che *lo stabilimento risulta compatibile con il territorio circostante. Eventuali interventi urbanistici ed edilizi che interesseranno le porzioni di territorio interne alle linee di isodanno, devono essere compatibili con le tipologie corrispondenti alle categorie territoriali riportate nella tabella IV/2 del DM 14/04/1994 (così come modificato dal DM 15/05/96).*¹⁹ *La compatibilità territoriale allo stato di fatto dell'impianto come definito nei provvedimenti conclusivi deve essere garantita anche in futuro. Tutte le varianti che interessano interventi ricadenti nelle zone di danno da incidente rilevante, dovranno acquisire il parere del Comitato di valutazione regionale ai sensi della L.R. 26/2003 e successive modifiche (Art. 13).*

3. BASCHIERI & PELLAGRI SpA

Società	Bascheri&Pellagri SpA
Indirizzo	Via del Frullo, 26 – 40055 Marano di Castenaso (BO)
Stabilimento	Bascheri&Pellagri SpA
Indirizzo	Via del Frullo, 26 – 40055 Marano di Castenaso (BO)
Coordinate	Latitudine (N): 44°30'58" Longitudine (E): 11°26'15"
Classe	5
Attività	Produzione e deposito di polveri e cartucce da caccia e tiro
Principali sostanze detenute	Polvere propellente da caccia e tiro

Descrizione dello stabilimento e delle attività

La Bascheri & Pellagri SpA, sita nello stabilimento di Marano di Castenaso (BO) esplica attività di ricerca, progettazione, sviluppo e produzione nei seguenti settori:

- produzione di polveri propellenti alla nitrocellulosa per il caricamento di cartucce da caccia e tiro;
- produzione di cartucce per caccia e tiro;
- produzione di bossoli per cartucce da caccia e tiro.

Tale attività viene svolta in numerosi locali di lavorazione e di deposito, sparsi sull'intera area di proprietà della Società.²⁰ Nei locali di deposito le sostanze potenzialmente pericolose possono essere contenute in quantità superiori rispetto ai locali di lavorazione; qui le condizioni di rischio sono notevolmente inferiori poiché i depositi contengono esclusivamente prodotti finiti o materie prime

¹⁹ Si veda la tabella 5 del presente documento.

²⁰ I locali di deposito e quelli di lavorazione sono normati, ai fini della sicurezza, in maniera diversa in base al RD 18/06/31 n. 773 (Testo Unico delle Leggi di Pubblica Sicurezza – TULPS) ed al RD 06/05/40 n. 635 (Regolamento per l'esecuzione del Testo Unico 18 giugno 1931, n. 773 delle Leggi di Pubblica Sicurezza)

esplosive confezionate in attesa di essere movimentate. Nei locali di lavorazione, invece, il quantitativo massimo contemporaneamente presente non è superiore, di norma, a qualche centinaio di kg, poiché è statisticamente più probabile la possibilità di incidente dovuto ai cicli tecnologici di lavorazione a cui vengono sottoposti tali prodotti. Sia i locali di lavorazione che quelli di deposito sono edifici ad un solo piano costruiti in laterizio intonacato, con copertura in fibro-cemento. Tutti i locali sono protetti da terrapieni. Ogni locale è provvisto di una protezione contro le scariche atmosferiche di tipo reticolare. Gli impianti elettrici eventualmente presenti nei locali sono del tipo a sicurezza (grado minimo di protezione IP 55) e tutte le strutture metalliche presenti negli stessi sono collegate alla rete di terra dello Stabilimento.

1) Ciclo di produzione delle polveri

I FASE: preparazione materie prime

La nitrocellulosa ad alto titolo di azoto, umida di acqua viene prelevata dal magazzino ed essiccata negli essiccatoi. La polvere propellente di recupero viene prelevata dai depositi di fabbrica e portata al deposito polveri da macinare. Da questo locale il prodotto viene prelevato per essere macinato in acqua nel locale di macinazione polvere. La polvere umida macinata viene essiccata negli essiccatoi di polveri.

II FASE: preparazione impasti

Le materie prime essiccate vengono pesate nel locale proporzioni solidi. Gli scarti di lavoro che si trovano nel deposito giornaliero vengono pesati nel locale pesatura scarti. Il nitrato di potassio viene pesato nel locale proporzioni liquidi, mentre la difenilammina viene depositata nel magazzino difenilammina. I solventi contenuti nel serbatoio interrato vengono prelevati con pompe e pesati in damigiane nel locale proporzioni liquidi, i cui vuoti sono conservati nel vano contiguo.

III FASE: impasti

I componenti pesati degli impasti e la galletta (miscuglio di nitrocellulosa e nitroglicerina umidificato con acqua), prelevata dal deposito di fabbrica, vengono portati nei locali impasto. Il prodotto impastato viene poi messo in bidoni che vengono portati al locale sosta semilavorati.

IV FASE: laminazione, taglio e lavaggio

I bidoni vengono portati nel deposito giornaliero degli impasti. Da qui i bidoni vengono portati nel locale laminazione dove l'impasto viene ridotto in sfoglia. La sfoglia raccolta in bobine viene immessa nelle taglierine che la riducono in quadrettino e la inviano mediante idromulino ai mescolatori, nei quali avviene la fase di lavaggio.

V FASE: essiccamento

Terminato il lavaggio la polvere viene sgrondata dall'acqua e viene portata nei locali essiccatoi per eliminare l'umidità residua.

VI FASE: lisciatura, essiccamento, setacciatura

La polvere essiccata viene portata nel locale pesatura polvere dove si pesano la polvere e gli inerti (grafite, alluminio e colla alla nitrocellulosa) da introdurre nelle botti di lisciatura poste nei locali botti. Terminata la lisciatura la polvere viene portata nuovamente negli essiccatoi. Terminato l'essiccamento la polvere viene setacciata nei locali setacci. Il prodotto setacciato viene portato nei depositi semilavorati.

VII FASE: omogeneizzazione, imballaggio e immagazzinamento

Raggiunto il peso di polvere necessario per formare un lotto, previ controlli di qualità, le varie partite di polvere vengono prelevate dai depositi semilavorati per essere omogeneizzate nel locale di omogeneizzazione. Il prodotto omogeneizzato viene confezionato nel locale imballaggio, se destinato alla vendita, oppure depositato nel deposito, se destinato all'autoconsumo nel caricamento cartucce. Le scatole necessarie all'imballaggio sono contenute nel magazzino cartoni. Il prodotto imballato viene stivato nei depositi di fabbrica. Nello stabilimento esiste un locale autorizzato quale deposito di esplosivi non riconosciuti dal Ministero degli interni utilizzati a scopo di studi e ricerca.

2) Ciclo di produzione dei bossoli

I FASE: produzione componenti inerti

Il granulato di polietilene ad alta densità viene prelevato dal magazzino materie prime e semilavorati e portato nel locale estrusione dove avviene la produzione del tubo in plastica mediante trafilatura. La banda di ferro ottonata viene prelevata dal magazzino materie prime e portata nel locale e assiemata al bossolo dove, mediante presse meccaniche di imbutitura, viene prodotto il fondello del bossolo. I semilavorati prodotti, se non vengono immediatamente utilizzati in produzione, sono depositati nel magazzino semilavorati come pure altri semilavorati eventualmente non prodotti in stabilimento.

II FASE: assiematura e introduzione innesco

Le capsule di innesco depositate nel deposito inneschi vengono prelevate e portate nel deposito giornaliero. I semilavorati della fase vengono assiemati con macchine automatiche nel locale assiematura, per produrre il bossolo. Le stesse macchine provvedono ad inserire l'innesco nello stesso. I bossoli finiti si raccolgono in scatole di cartone e vengono depositati nei depositi dei bossoli innescati. I bossoli vengono, se del caso, portati nel locale serigrafia per la stampa dei marchi di fabbrica con macchine automatiche.

3) Ciclo di produzione delle cartucce

Le borre, le scatole di cartone, gli imballi primari, il piombo e i bossoli vengono prelevati dai relativi magazzini e portati nel locale caricamento cartucce. La polvere necessaria al caricamento viene prelevata dal deposito di fabbrica e portata nel deposito giornaliero della polvere per il caricamento cartucce. I vari componenti necessari al caricamento delle cartucce vengono riforniti manualmente alle macchine di caricamento delle cartucce. Le stesse, una volta caricate, sempre in automatico, vengono confezionate negli imballi primari e gli stessi vengono poste nelle scatole di cartone destinate alla vendita. Le confezioni di cartucce vengono portate al deposito cartucce finite e confezionate.

Le aree adibite a lavorazione e deposito sono le seguenti:

Locali di deposito

1A	Locale serigrafia bossoli innescati
5A/54A	Deposito ipoclorito di sodio, gruppo di pompaggio acque industriali
8	Deposito giornaliero polvere finita
13ABCD	Deposito, preparazione solventi e coloranti
18/27	Magazzino bossoli innescati e borre
20	Deposito inneschi
21C	Deposito polvere finita
21D	Deposito polvere finita
21L	Deposito polvere finita e imballata
21M	Deposito cartucce e bossoli innescati
21M1	Magazzino cartucce IAG
37C	Esercizio minuta vendita
43A	Deposito polvere finita

44/53	Deposito esplosivi prodotti finiti
57CDFGH (Gruppo 2)	Depositi materie prime inerti non esplosive

Locali di lavorazione

15	Laboratorio Ufficio tecnico, laboratorio chimico, banco di prova balistico
17	Locale setacciatura polveri
21A/24	Locali essiccatoio polveri
21B	Locali omogeneizzazione polveri
25A	Locale inscatolamento polveri
25B-E-G	Locali stagionatura impasti
25L1	Locale sosta e pesatura polveri
25L3	Locale smistamento soluzioni collanti
25M	Locale lisciatura polveri
26/26C	Locali Laminazione, taglio e lavaggio polveri e stagionatura impasti
57A	Locale impastatrice
57B/E	Locali smistamento e pesatura materie prime esplosive
60	Locale caricamento cartucce
63	Piazzola per la distribuzione dei residui di lavorazione

Per la quantità di materiali detenuti, lo stabilimento ricade nella categoria di stabilimenti a soglia superiore.

Elementi di vulnerabilità ambientale e territoriali

L'area dello stabilimento è delimitata a sud da via Bargello, a est da via Cà dell'Orbo, ad ovest da terreni agricoli a loro volta delimitati dalla strada provinciale 5 in via di completamento, e a nord da via del Frullo. Nell'area circostante lo stabilimento sono presenti in prevalenza terreni agricoli ed abitazioni isolate. Gli elementi di vulnerabilità individuati nell'ambito territoriale pertinente al confine comunale sono i seguenti²¹:

- elettrodotto a circa 500 metri;
- ferrovia (scalo merci San Donato) a circa 750 metri;
- abitazioni isolate a distanze comprese fra i 650 e i 950 metri;
- CAAB (polo specializzato integrato) a circa 2000 metri.

Gli elementi di vulnerabilità ambientale individuati nell'ambito circostante sono i seguenti:

- Scolo Zenetta di Quarto a circa 1200 metri;

Scenari incidentali e stima delle conseguenze

²¹ Tenuto conto dei numerosi punti di lavorazione dell'azienda, legati a eventi di rischio diversi, si è considerata la parte centrale dello stabilimento come punto di partenza per la misurazione delle distanze dagli elementi di vulnerabilità.

L'attività svolta nello stabilimento è soggetta ai seguenti rischi incidentali:

Evento incidentale	Frequenza evento (eventi/anno)
<i>Esplosione in locale di deposito</i>	5E10 ⁻⁵
<i>Esplosione in locale di lavorazione</i>	5E10 ⁻³



Fonte: Notifica presentata il 31 maggio 2016

Secondo quanto riportato nella notifica presentata nel 2016, l'azienda ha individuato 27 top events:

Top event	Descrizione	Evento	Zone di danno (m)		
			I	II	III
1	Esplosione nel locale 21D di polvere propellente	Esplosione	172	474	948
2	Esplosione nel locale 24-21A di polvere propellente	Esplosione	132	363	726
3	Esplosione nel locale di deposito 8 di polvere propellente	Esplosione	23	44	
4	Esplosione nel locale di deposito 44 di polvere propellente	Esplosione	115	317	635
5	Esplosione nel locale di deposito 45 di polvere propellente	Esplosione	115	317	635
6	Esplosione nel locale di deposito 46 di polvere propellente	Esplosione	137	376	752
7	Esplosione nel locale di deposito 47 di polvere propellente	Esplosione	137	376	752
8	Esplosione nel locale di deposito 48 di polvere propellente	Esplosione	137	376	752
9	Esplosione nel locale di deposito 49 di polvere propellente	Esplosione	137	376	752
10	Esplosione nel locale di deposito 50 di polvere propellente	Esplosione	95	252	504
11	Esplosione nel locale di deposito 51 di polvere propellente	Esplosione	109	299	597
12	Esplosione nel locale di deposito 52 di polvere propellente	Esplosione	95	220	440
13	Esplosione nel locale di deposito 53 di polvere propellente	Esplosione	95	220	440
14	Esplosione nel locale di deposito 21C di polvere propellente	Esplosione	137	376	752
15	Esplosione nel locale di deposito 43A di polvere propellente	Esplosione	137	376	752
16	Esplosione nel locale di lavorazione 17 di polvere propellente	Esplosione	63	175	349
17	Esplosione nel locale di lavorazione 21B di polvere propellente	Esplosione	101	277	554
18	Esplosione nel locale di lavorazione 25L di polvere propellente	Esplosione	71	195	391
19	Esplosione nel locale di lavorazione 25M di polvere propellente	Esplosione	71	195	391
20	Esplosione nel locale di lavorazione 57A di polvere propellente	Esplosione	47	129	257
21	Esplosione nel locale di lavorazione 60 di polvere propellente	Esplosione	31	58	
22	Esplosione nel locale di lavorazione 63 di polvere propellente	Esplosione	47	129	257
23	Esplosione nel locale di lavorazione 25B di polvere propellente	Esplosione	63	175	349
24	Esplosione nel locale di lavorazione 25E di polvere propellente	Esplosione	83	227	454
25	Esplosione nel locale di lavorazione 25G di polvere propellente	Esplosione	83	227	454
26	Esplosione nel locale di lavorazione 57B/E di polvere propellente	Esplosione	114	315	630
27	Esplosione nel locale di lavorazione 26/26C di polvere propellente	Esplosione	80	220	440



Fonte: Notifica presentata il 31 maggio 2016

L'impatto previsto all'esterno dello stabilimento descritto nel PEE è coerente con quanto riportato nella notifica.

	Locale di deposito	Carico di esplosivo (Kg)	Zona I Elevata letalità (m)	Inizio letalità (m)	Zona II Lesioni irreversibili (m)	Zona III Lesioni reversibili (m)
1	Gruppo 2		5	<10	<25	-
2	8	300	23	33	44	-
3	20	19.000 ^A	5	< 10	< 25	-
4	44	3.000	115	216	317	635
	44	3.000	50	72	94	-
5	45	3.000	115	216	317	635
	45	5.000	60	85	111	-
6	46	5.000	137	256	376	752
	46	20.000	95	136	176	-
7	47	5.000	137	256	376	752
	47	20.000	95	136	176	-
12	48	5.000	137	256	376	752
13	48	20.000	95	136	176	-
14	49	5.000	137	256	376	752
15	49	20.000	95	136	176	-
16	50	1.500	92	172	252	504
17	50	20.000	95	136	176	-
18	51	2.500	109	204	299	597
19	51	20.000	95	136	176	-
20	52	1.000	80	150	220	440
	52	20.000	95	136	176	-
	53	1.000	80	150	220	440
	53	20.000	95	136	176	-
	21C	5.000	137	256	376	752
	21D	10.000	172	323	474	948
	21L	17.800	91	131	170	-
	21M	448.000 ^A	5	< 10	< 25	-
	21M1	1.872.000 ^A	5	< 10	< 25	-
	43A	5.000	137	256	376	752
	37C	540 ^A	4	10	25	-
	37C	5	6	9	11	-
	18/27	260.000 ^A	5	< 10	< 25	-
	1A	950 ^A	1	< 10	< 25	-

	Locale di deposito	Carico di esplosivo (Kg)	Zona I Elevata letalità (m)	Inizio letalità (m)	Zona II Lesioni irreversibili (m)	Zona III Lesioni reversibili (m)
	17	500	28	40	52	
	21B	2.000	101	189	277	554
	24-21A	4.500	132	248	363	726
	25A	500	28	40	52	
	25L	700	71	133	195	391
	25M	700	71	133	195	391
	26/26C	1000	80	150	220	440
	57A	200	47	88	129	257
	60	700	31	44	58	-
	63	200	47	88	129	257
	25B	500	63	119	175	349
	25E	1100	83	155	227	454
	25G	1.100	83	155	227	454

57BE	3.000	114	215	315	630
15	20	10	14	52	-

Compatibilità ambientale e territoriale

La valutazione conclusiva esplicita le categorie territoriali compatibili con la classe dello stabilimento:

Top Event	Scenario	Probabilità	Classe di probabilità	Categorie di effetti / Categorie territoriali			
Esplosione in un locale di deposito [Top 1]	VCE Sovrappressione di picco [Esplosione] eventi anno	<10 ⁻⁴ eventi/ anno	10 ⁻⁴ - 10 ⁻⁶	Elevata letalità (E)F	Inizio letalità (D)EF	Lesioni irreversibili (C)DEF	Lesioni reversibili (B)CDEF

Top Event	Scenario	Probabilità	Classe di probabilità	Categorie di effetti / Categorie territoriali			
Esplosione in un locale di lavorazione [Top 2]	VCE Sovrappressione di picco [Esplosione]	5E10 ⁻³ eventi/anno	>10 ⁻³	Elevata letalità F	Inizio letalità F	Lesioni irreversibili EF	Lesioni reversibili DEF

Le categorie indicate tra parentesi nello scenario Top 1 non vanno considerate in caso di rilascio di concessioni e autorizzazioni edilizie in assenza di variante urbanistica. Fonte: Parere Tecnico Conclusivo (PTC)
- Delibera trasmessa con nota Dir. Reg. V.V.F. prot. n. 5030 del 27 marzo 2013

Le aree di danno che interessano il territorio del Comune di Bologna sono solo quelle corrispondenti alle zone di lesioni reversibili. Da una sovrapposizione delle aree di danno con le previsioni del PSC, è risultato che tali aree ricadono negli seguenti ambiti:

- Ambito agricolo di rilievo paesaggistico (Quadro Normativo, Artt. 28 e 30);
- Ambito per i nuovi insediamenti specializzato Ambito per nuovi insediamenti specializzato, n. 151 Quarto Superiore (polo funzionale) (Quadro Normativo, Artt. 17 e 18);
- Ambito pianificato consolidato per infrastrutture (Quadro Normativo, Art. 26).

Per quello che riguarda le vulnerabilità territoriali, si segnala che:

- parte dell'area di danno è ricompresa all'interno del perimetro di un polo funzionale. Non vi sono comunque edifici afferenti polo funzionale ricompresi all'interno delle aree di danno;
- all'interno dell'area di danno sono ricompresi due tratti di elettrodotto ad alta tensione (rispettivamente di circa 75 e 115 metri), ed un edificio isolato;
- l'area di danno lambisce l'area ferroviaria dello scalo merci.

Per quello che riguarda le vulnerabilità ambientali, si segnala la presenza di connettivo ecologico diffuso all'interno delle aree di danno.

Dall'analisi del contesto territoriale con riferimento agli usi attuali, le aree di danno insistono, nel caso di entrambi gli scenari incidentali, su una zona di categoria E in quanto ci sono sia aree agricole produttive, sia aree a carattere prevalentemente residenziale con un basso indice di edificazione e non vi sono luoghi soggetti ad affollamento rilevante.

Pertanto si può concludere che *lo stabilimento risulta compatibile con il territorio circostante. Eventuali interventi urbanistici ed edilizi che interesseranno le porzioni di territorio interne alle linee di isodanno, devono essere compatibili con le tipologie corrispondenti alle categorie territoriali riportate nella tabella IV/2 del DM 14/04/1994 (così come modificato dal DM 15/05/96).*²² *La compatibilità territoriale allo stato di fatto dell'impianto come definito nei provvedimenti conclusivi deve essere garantita anche in futuro.*

²² Si veda la tabella 5 del presente documento.

Tutte le varianti che interessano interventi ricadenti nelle zone di danno da incidente rilevante, dovranno acquisire il parere del Comitato di valutazione regionale ai sensi della L.R. 26/2003 e successive modifiche (Art. 13).

Conclusioni

L'esame condotto sulle aziende presenti sul territorio comunale non evidenzia situazioni di grave incompatibilità con gli usi attualmente insediati o pianificati per il territorio. Si osservano alcune interferenze con aree adibite a poli funzionali, la presenza di abitazioni sparse nelle aree di danno di inizio letalità e la presenza di connettivi e corridoi ecologici. Al fine di preservare la compatibilità con il territorio, andrà però valutata con attenzione la fattibilità di qualunque intervento che riguardi attività produttive, insediamenti residenziali, commerciali ed istituzionali ed infrastrutture all'interno delle aree di danno e di quelle immediatamente limitrofe.



Acqua, risorsa idrica

Criticità qualitative del sistema idrico superficiale

I corsi d'acqua superficiali più rilevanti presenti sul territorio comunale sono il Fiume Reno, il Torrente Savena ed il Torrente Lavino, oltre ad una serie di rii collinari come Torrente Aposa, ed il Ravone. Tutti hanno un regime torrentizio essendo alimentati quasi esclusivamente dal deflusso diretto delle piogge, mentre le sorgenti hanno scarsissima rilevanza. I rii collinari presentano un certo interesse naturalistico e paesaggistico nella parte collinare, mentre i tratti urbani sono stati quasi tutti tombati ed in parte trasformati in pubbliche fognature, grazie alla presenza di scolmatori di magra, manufatti che in tempo secco indirizzano tutta la portata verso la depurazione ed in caso di precipitazioni indirizzano le portate fognarie adeguatamente diluite verso i corsi d'acqua di valle.

Dal Fiume Reno tramite la Chiusa di Casalecchio e dal Torrente Savena tramite la Chiusa di san Ruffillo prende origine il sistema idraulico Navile-Savena Abbandonato, che alimenta una fitta rete di canali storici che attraversano la città e che nel corso dei secoli sono stati progressivamente tombati. L'acqua derivata dal sistema attraverso i canali e le opere idrauliche del Consorzio della Chiusa viene restituita ai corsi d'acqua demaniali posti più a valle (Canale Navile) garantendo anche il drenaggio della città. Nel corso dei secoli tale rete di canali è divenuta anche recapito di scarichi non trattati successivamente assicurati alla depurazione grazie alla realizzazione degli scolmatori di magra.

Questo complesso assetto idraulico fatto di corsi d'acqua e canali costituisce un sistema particolarmente vulnerabile all'inquinamento presentando portate naturalmente scarse (condizione destinata a peggiorare in conseguenza del cambiamento climatico) e inadeguate soprattutto in alcuni periodi dell'anno (estate) in quanto non riescono a compensare il carico inquinante circolante.

Obiettivo primario pertanto è quello di eliminare la diffusa presenza delle interferenze del reticolo idrografico con la fognatura e di separare le acque bianche da quelle nere, restituendo ai corpi idrici e ai canali la loro originaria natura. Si tratta di lasciare in alveo le acque bianche provenienti da monte che oggi vengono invece sottratte e inviate a depurazione e rilasciare nella rete idrografica di Bologna portate maggiori rispetto alla situazione attuale. Le opere in questione dovranno portare alla realizzazione di un sistema fognario di tipo separato con bonifica dei corsi d'acqua.

L'obiettivo prevede diversi interventi su alcuni tratti di corpi idrici sotterranei di Bologna (Torrente Aposa, Torrente Ravone, Rio Meloncello, Rio Grotte, Scolo Santo Spirito, Scolo Biancana), che attualmente ricevono diffusamente scarichi di acque nere e pertanto vengono collettati ed addotti al depuratore.

Relativamente ai canali tombati del centro storico occorre effettuare una distinzione tra quelli che sono da trasformare in fognatura in quanto fortemente compromessi dalla presenza di molti scarichi fognari e non costituendo l'ossatura portante del reticolo possono essere scollegati dal sistema delle acque superficiali bianche, da quelli che invece occorre risanare per restituire pienamente alla circolazione delle acque bianche (Canale Fiaccacollo).

Altra importante fonte di interferenza tra reticolo idrografico e fognatura sono gli scaricatori fognari: la città di Bologna è dotata di una rete fognaria mista in cui le acque meteoriche vengono collettate

insieme alle acque reflue domestiche ed industriali; un sistema coevo allo sviluppo storico della città, che comporta la presenza di oltre 80 scaricatori che si attivano in caso di forti precipitazioni. Solo lungo l'asta del Canale Navile ne sono concentrati una ventina e questo determina una qualità delle acque del canale non adeguata. Tale situazione si aggrava a causa dell'inadeguato volume di acqua naturale circolante nel canale.

Gli interventi di separazione nelle reti di monte avranno rilevanti benefici anche sulla diminuzione di attivazione degli scaricatori e sulla gestione e funzionalità dell'impianto di depurazione a cui recapiteranno portate più concentrate e meglio gestibili.

La rigenerazione urbana rappresenta una irrinunciabile opportunità di riqualificazione dei corsi d'acqua per il raggiungimento degli obiettivi di qualità dei corpi idrici.

Approvvigionamento idrico - consumi

Il Piano di adattamento del Comune di Bologna ha evidenziato come il cambiamento climatico porta ad una estensione dei periodi di assenza di pioggia in estate, andando ad aggravare il fenomeno della siccità che già più volte si è manifestata sul territorio.

Quella della siccità estiva è una criticità particolarmente grave a Bologna per la peculiarità della situazione idrografica e idrogeologica. La prima specificità è data dal fatto che il sistema acquedottistico è alimentato, oltre che da falda, prevalentemente dal fiume Reno, un corso d'acqua appenninico, caratterizzato già in condizioni naturali da portate estive molto esigue e profondamente artificializzato nel suo tratto di pianura: un corso d'acqua che, per raggiungere il "buono stato" previsto dal Piano di Gestione in attuazione della Direttiva 2000/60, ha bisogno di mantenere in alveo il massimo possibile della portata durante i mesi estivi. La seconda particolarità – comune a molte altre città della pianura formatesi anticamente dalle alluvioni di Po e dei suoi affluenti appenninici – è il fenomeno della subsidenza; l'abbassamento graduale del piano di campagna, dovuto alla costipazione del sottosuolo: fenomeno che tende a peggiorare in seguito all'estrazione di acque dalla falda profonda. La risultante di queste due particolarità rende molto problematico l'approvvigionamento idrico di Bologna nel periodo estivo, sia da falda che da acque superficiali: è quindi necessario ridurre al minimo i prelievi sia da falda (durante tutto l'anno) che da acque superficiali (in particolare nel periodo estivo, più critico perché aumenta la domanda di acque superficiali per irrigazione).

A livello comunale i consumi idrici più significativi sono di gran lunga quelli civili, con un valore che mostra un calo tendenziale negli ultimi 10 anni. Circa il 70% dei consumi è per uso domestico mentre il 22% è relativo agli usi commerciali, artigianali e industriali.

La riduzione dei prelievi di risorse idriche naturali è uno dei principali obiettivi da perseguire, in particolare nel periodo estivo quando emerge più drammaticamente il conflitto tra i diversi usi della risorsa, per mantenere il più possibile le portate negli alvei e canali oltre che nelle falde. Occorre quindi promuovere in tutti i settori il risparmio, l'accumulo diffuso e l'uso delle acque di pioggia, il riciclo e il recupero delle acque usate.

Il Piano Urbanistico punta pertanto a promuovere il risparmio idrico, il recupero ed il riutilizzo delle acque meteoriche negli edifici residenziali per gli usi domestici ma anche per gli usi produttivi, direzionali e commerciali promuovendo il ricorso a fonti di approvvigionamento alternative. Pertanto, con l'obiettivo di mettere a sistema l'infrastrutturazione esistente (fonti di acque meno pregiate e reti di distribuzione) al fine di renderla maggiormente articolata sul territorio, il Piano promuove la tutela a fini polifunzionali dei bacini esistenti e la contestuale verifica della possibilità di realizzarne di nuovi in posizione utile al riutilizzo ambientale o produttivo.

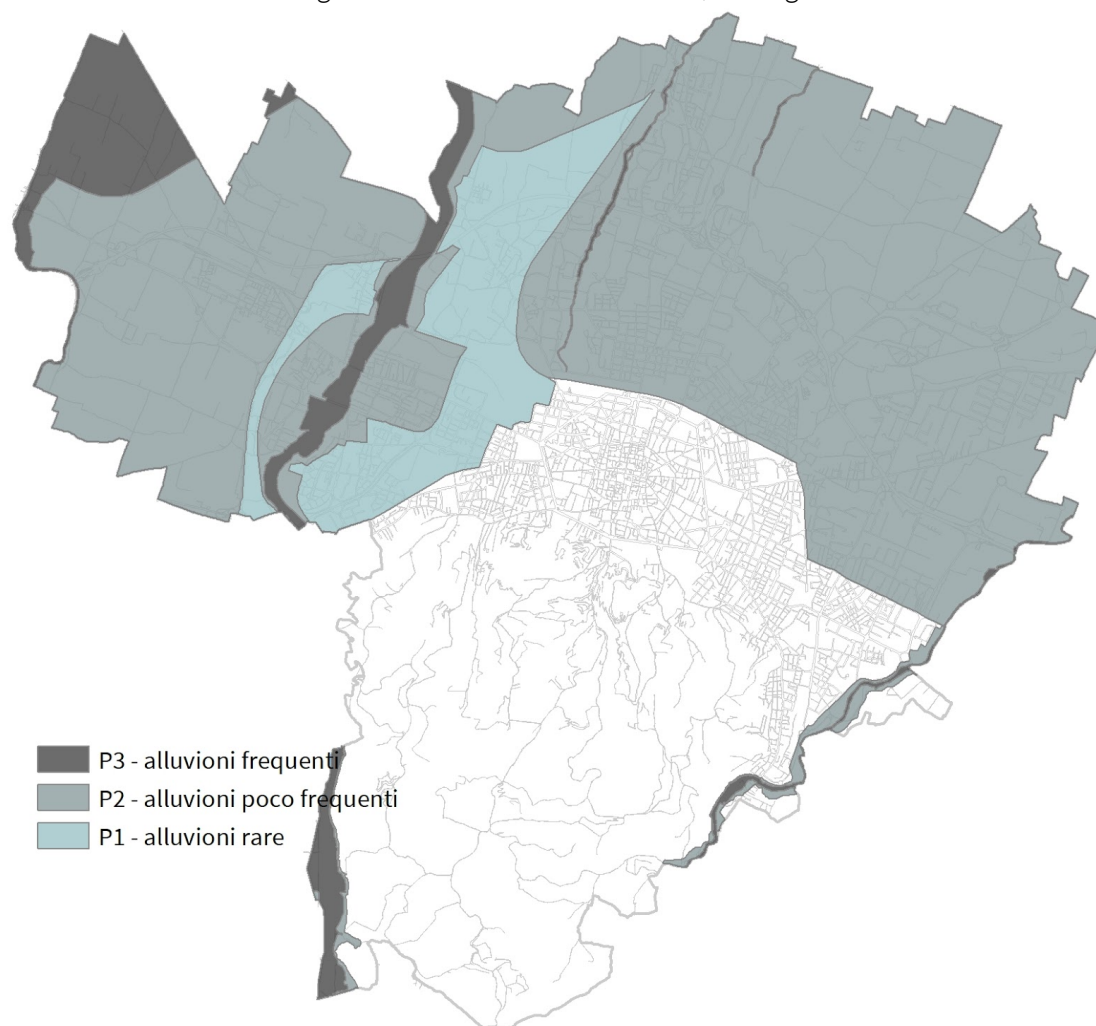


Riduzione vulnerabilità idraulica e di allagamento di edifici e infrastrutture

Il nuovo Piano Urbanistico intende aumentare la resilienza della popolazione e dei beni esposti a rischio idraulico e di allagamento. Oltre all'individuazione e al controllo delle aree a rischio idraulico individuate dalla pianificazione di settore (Piani Stralcio e Piano di Gestione Rischio allagamento), il Piano di Adattamento ai cambiamenti climatici della città ha messo in luce la presenza di alcuni bacini collinari potenzialmente critici per il rischio idraulico della città: si tratta dell'Aposa, Ravone e Meloncello, corsi d'acqua collinari con bacini idrici più ampi e che nel loro tratto urbano sono stati tombati. In particolare, lo studio di simulazione idraulica svolto per il bacino del Ravone ha dimostrato che, per eventi meteorici straordinari la sezione del tratto intubato non sarebbe sufficiente al transito delle portate idrauliche simulate. Da un lato si prevede di attivare un sistema di monitoraggio che permetterà di definire con maggior precisione eventuali procedure di allerta precoce per le popolazioni esposte al rischio idraulico nelle aree interessate e progettare eventuali interventi strutturali o gestionali di prevenzione del rischio; occorre tuttavia prevedere anche norme per le trasformazioni urbanistico edilizie delle aree poste all'imbocco dei tombinamenti, come il divieto di

trasporto solido da rischio di occlusione. Per far fronte a precipitazioni sempre più intense ed aumentare la resilienza idraulica della città è necessario intervenire nelle aree maggiormente vulnerabili individuate dai Piani Stralcio e dal Piano di Gestione Rischio Alluvioni, attraverso le seguenti regole urbanistico/edilizie:

- **alta probabilità di inondazione:**
 - limitare/vietare l'insediamento di nuovi edifici e/o usi sensibili e/o potenzialmente impattanti;
 - per gli edifici esistenti promuoverne la rilocalizzazione a partire dagli usi più sensibili e/o impattanti.
- **fascia di Pertinenza fluviale:**
 - consentire l'insediamento di nuovi edifici e/o usi solo dopo dimostrazione del non incremento del rischio idraulico grazie alla presentazione di uno studio idraulico. Vedi art 4.3 PTCP;
 - promuovere interventi finalizzati alla riduzione della vulnerabilità degli edifici esistenti attraverso adeguati interventi di manutenzione. Linee guida Autorità Bacino Po.
- **fascia dei 100/200 anni:**
 - consentire l'insediamento di nuovi edifici e/o usi solo dopo dimostrazione del non incremento del rischio idraulico grazie alla presentazione di uno studio idraulico;
 - promuovere interventi finalizzati alla riduzione della vulnerabilità degli edifici esistenti attraverso adeguati interventi di manutenzione; Linee guida Autorità Bacino Po.



Fenomeno delle inondazioni generate dal reticolo secondario di pianura artificiale

Il Piano di gestione Rischio Alluvioni introdotto dalla Direttiva Comunitaria 2007/60/CE (cd. Direttiva Alluvioni) recepita nell'ordinamento italiano con Dlgs. 49/2010, ha la finalità di costruire un quadro omogeneo, a livello distrettuale, per la valutazione e la gestione dei rischi da fenomeni alluvionali con l'obiettivo di ridurre i rischi di conseguenze negative derivanti da alluvioni, per la vita umana, la salute, l'ambiente il patrimonio culturale l'attività economica e le infrastrutture.

Con il termine di "alluvione" si intende l'allagamento temporaneo di aree che abitualmente non sono coperte d'acqua. Ciò include le inondazioni causate da fiumi, torrenti, corsi d'acqua temporanei, e le inondazioni marine delle zone costiere; il decreto nazionale introduce nella definizione di alluvione anche le inondazioni derivanti dalle reti di drenaggio artificiale.

Il PGRA è predisposto sulla base delle mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni, che costituiscono, il quadro conoscitivo in riferimento al quale il piano individua i propri obiettivi di gestione del rischio e le misure per raggiungerli.

La Regione Emilia-Romagna ha predisposto le mappe di pericolosità e rischio in riferimento a tre tipologie di fenomeni:

- fenomeno delle inondazioni generate dai corsi d'acqua naturali (reticolo principale e secondario collinare montano RP_RSCM)
- fenomeno delle inondazioni generate dal reticolo secondario di pianura artificiale (reticolo di Bonifica RSP)
- fenomeno delle inondazioni generate dal mare (ambito marino costiero ACM).

Per quanto attiene al reticolo secondario di pianura o di bonifica si fa presente che questo è costituito da un esteso sistema di canali, quasi esclusivamente artificiali, il cui funzionamento è regolato da opere quali chiaviche, portoni e impianti idrovori, che consentono di recapitare le acque in fiumi, altri canali o in mare per gravità o per sollevamento meccanico. Qui le esondazioni possono avvenire per sormonto o per rottura arginale; le pendenze ridotte, accentuate dal fenomeno della subsidenza, con aree al di sotto del livello del mare caratterizzano le inondazioni per un prevalente funzionamento a cascata fra diverse porzioni di territorio delimitate da rilevati. Una stessa area può potenzialmente subire l'allagamento da parte di due o più corsi d'acqua naturali e di bonifica. La densità antropica, di infrastrutture e di attività di rilevanza economica e sociale determinano un quadro di rischio diffuso. Nel sito della Regione sono reperibili le mappe della pericolosità generata dal reticolo secondario.

<https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/suolo-bacino/sezioni/piano-di-gestione-del-rischi-o-alluvioni/mappe-pgra-primociclo/cartografia#tavole%20pdf%20PGRA>

La perimetrazione delle aree potenzialmente allagabili è stata effettuata con riferimento a due scenari: alluvioni frequenti (per tempi di ritorno fino a 50 anni) e alluvioni poco frequenti (per tempi di ritorno fino a 200 anni). In ragione dell'elevata estensione del reticolo, della complessità del sistema e della presenza di zone morfologicamente depresse, il metodo di individuazione delle aree soggette ad alluvioni è di tipo prevalentemente storico-inventariale e si è sviluppato a partire dai dati e dalle informazioni sugli eventi avvenuti orientativamente in epoca successiva al 1990 censiti dai Consorzi di Bonifica, in quanto ritenuti maggiormente compatibili con l'attuale scenario di bonifica e di uso del suolo. A questa tipologia di aree si aggiungono limitate zone individuate mediante modelli idrologico – idraulici (metodo completo) e aree delimitate sulla base del giudizio esperto degli enti gestori (metodo

conoscitivo) in relazione alla generale incapacità del reticolo di far fronte ad eventi di precipitazione caratterizzati da TR superiori (in media) a 50 anni: in questo caso (alluvioni poco frequenti), le aree perimetrate coincidono con gran parte dei settori di pianura dei bacini idrografici. Le mappe della pericolosità non tengono conto della possibilità che si verifichino rotture arginali o malfunzionamenti degli impianti di sollevamento e delle opere di gestione delle piene (chiaviche, paratoie, ecc).

CONDIZIONI PER LE TRASFORMAZIONI DEL TERRITORIO

Nelle aree perimetrate a pericolosità P3 e P2 generate dal Reticolo Secondario di Pianura, in senso generale si deve garantire l'applicazione:

- di misure di riduzione della vulnerabilità dei beni e delle strutture esposte, anche ai fini della tutela della vita umana;
- di misure volte al rispetto del principio dell'invarianza idraulica, finalizzate a salvaguardare la capacità ricettiva del sistema idrico e a contribuire alla difesa idraulica del territorio.

In tali aree valgono le misure previste nella scheda di vincolo delle corrispondenti aree P3 e P2 generate dal reticolo dei corsi d'acqua naturali.

Si ricorda infine che in relazione al fenomeno di inondazione generata dal reticolo di bonifica, oltre a quanto stabilito dal PGRA, si applica la Direttiva per la sicurezza idraulica nei sistemi idrografici di pianura approvata con Delibera C.1. n° 1/3 del 23/04/2008; e modificata con Delibera C.I. n° 1/2 del 25/02/2009. La Direttiva prevede, fino a che non verranno elaborati i Piani Consortili Intercomunali, che nel caso di previsione di interventi edilizi che possano incrementare sensibilmente il rischio idraulico rispetto a quello esistente, il Consorzio di Bonifica territorialmente competente rilasci un parere idraulico riguardante l'inondazione delle aree oggetto di intervento. Tale parere può anche indicare le opere necessarie per non incrementare il rischio idraulico.



Servizi ecosistemici, ecorete urbana

Elementi costitutivi dell'eco-rete urbana

Le aree agricole (o ad elevata vocazione agricola) sono ubicate nel territorio contiguo al limite di pianura dell'urbanizzato, in parte incuneate fra i sistemi insediativi, a comporre una cintura disomogenea opposta alla collina. I lembi a sud del tracciato autostradale costituiscono residui di paesaggio rurale, spazi risparmiati dall'urbanizzazione che conservano elementi storico-paesaggistici del passato e a cui oggi si deve riconoscere un importante valore ecologico-ambientale, proprio perché ormai facenti parte di un tessuto urbanizzato; le aree più esterne sono invece maggiormente vocate alla produzione ma accolgono al contempo alcune aree che per l'alto valore paesaggistico ed ecologico erano già state particolarmente tutelate nei precedenti piani (i cosiddetti "cunei agricoli" di nord est e ovest). Ricoprono circa 34 kmq.

La collina, che copre quasi un quarto del territorio comunale (35 kmq) e costituisce la sua porzione più meridionale, si configura come un ventaglio a sei coste collinari solcate da una serie di piccole valli e sette rii (Rio S. Luca, Rio del Meloncello, Torrente Ravone, Rio di Monte Scalvato, Torrente Aposa, Fossa Cavallina, Rio Grifone). Un territorio di elevata fragilità idrogeologica, in gran parte rinaturalizzato, coperto da boschi in vari stadi di sviluppo per oltre la metà della sua superficie - circa 18 kmq dei complessivi 35 kmq - e che in parte conserva anche una sua specifica vocazione agricola. Questo territorio comprende anche Aree naturali protette come il Parco Regionale dei Gessi e Calanchi dell'Abbadessa e il Paesaggio Naturale e Seminaturale Protetto Colline di San Luca, che al suo interno ha un'area della Rete ecologica Natura 2000 (il SIC-ZPS - Boschi di San Luca e Destra Reno). L'approccio urbanistico sulla collina di Bologna ed in particolare le politiche di tutela attuate nei decenni scorsi, hanno garantito l'effettiva salvaguardia di questo territorio, che oggi rappresenta un'importante riserva di biodiversità e svolge preziose funzioni di riequilibrio dello sviluppo urbano della città.

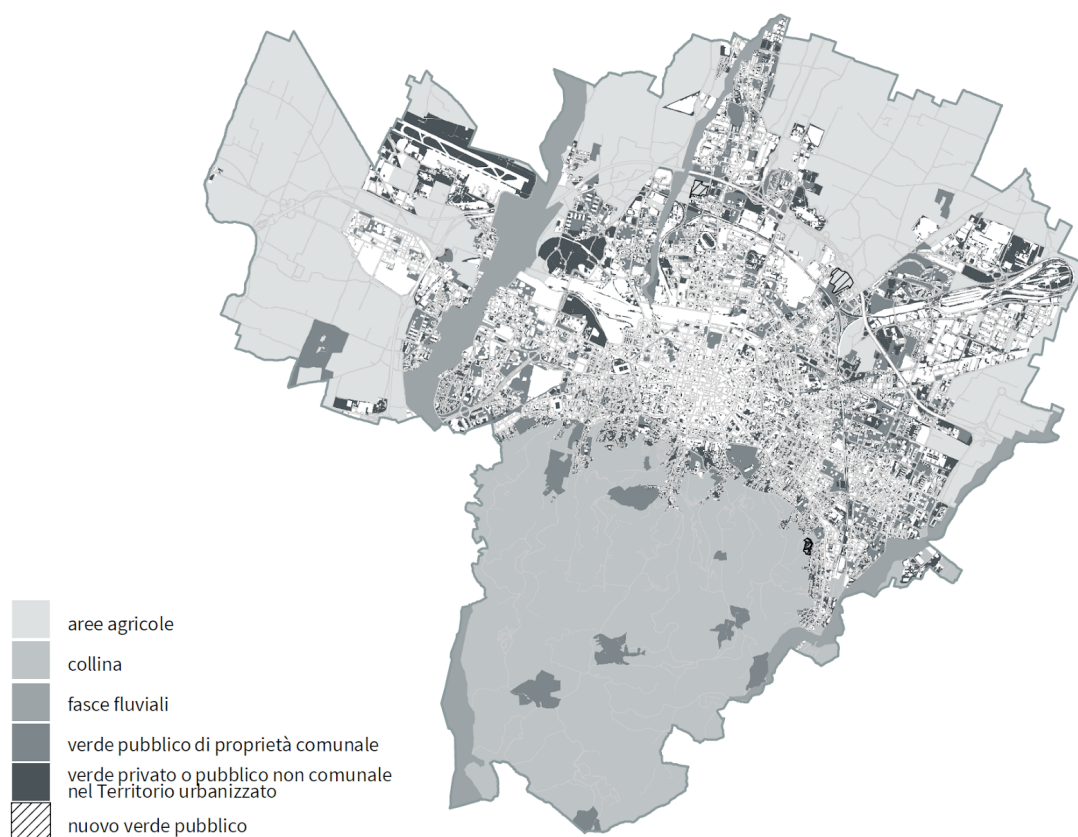
Le fasce fluviali del Reno, del Savena e del Canale Navile sono assi idraulici, elementi di connessione tra l'urbanizzato e la pianura, con funzione di direttrici privilegiate dal punto di vista naturalistico ed ecologico e confini naturali che hanno condizionato lo sviluppo storico ed attuale della città. Presentano spazi perifluviali di interesse naturalistico (lembi di bosco e arbusteti igrofilo, pratelli aridi, prati seminaturali e zone di greto frequentate dall'avifauna) e ambientale, ma sono stati spesso interessati da un'espansione urbanistica che ne ha "invaso" i confini e alterato le vocazioni di tutela idraulica, che andrebbero invece ripristinate. Si segnala la presenza di un'area della Rete ecologica Natura 2000, il Sito di Importanza Comunitaria (SIC) Golena San Vitale e Golena, a cui si affiancano diversi spazi verdi pubblici fruibili. Ricoprono circa 4 kmq.

Il verde privato (o comunque non comunale), rappresenta quantitativamente un elemento importante del tessuto urbano della città, in particolare nel perimetro dell'urbanizzato e si può stimare in circa 11 kmq. Pur con la sua limitata accessibilità, garantisce efficaci prestazioni ambientali per tutta la collettività, contribuendo positivamente - soprattutto nel perimetro urbanizzato - al microclima

urbano, all'attenuazione dell'inquinamento attraverso un'efficace azione di fitorimozione e fitodepurazione sia per l'aria sia per il suolo sia per l'acqua. Contribuisce inoltre al benessere individuale legato alla possibilità di poter fruire di una spazio aperto in genere collegato all'abitazione o all'ambiente di lavoro.

Il verde pubblico comunale rappresenta un patrimonio di dimensioni rilevanti (oltre 10 kmq) nel Comune di Bologna e riveste un ruolo strategico nel disegno del paesaggio urbano bolognese, soprattutto in relazione alla sua notevole varietà di espressioni (parchi, giardini, centri sportivi, verde scolastico, verde di arredo, viali alberati, boschi, fasce boscate di mitigazione, aree naturali, ecc.). Il sistema dei parchi e giardini costituisce gran parte dell'offerta pubblica di spazi ricreativi e di aggregazione sociale, che incoraggiano le attività all'aria aperta e contribuiscono alla creazione di opportunità ludiche, sportive e culturali, tutti benefici immateriali riconducibili al gruppo dei servizi ecosistemici sociali, fruitivi e ricreativi.

Nell'analisi dell'ecorete urbana sono stati considerati anche i dati del 2018 relativi al consumo di suolo pubblicati da ISPRA. Tali informazioni confrontate con i dati relativi alle superfici permeabili (verde pubblico e verde privato) nell'urbanizzato elaborate dal Comune sono coerenti.



Bacini idrici

E' ormai largamente condiviso dalla comunità scientifica l'importanza delle infrastrutture verdi e blu, intese generalmente come infrastrutture che sostengono il progresso di un territorio verso il raggiungimento degli obiettivi dello sviluppo sostenibile e della resilienza urbana, attraverso politiche di governo che consentono di pianificare la conservazione della natura e lo sviluppo di urbanizzazioni più resilienti.

La Strategia di mitigazione e adattamento per i cambiamenti climatici della Regione Emilia Romagna assegna ai bacini idrici un importante ruolo nel concorrere al miglioramento dell'ambiente, del microclima urbano e alla mitigazione dell'isola di calore.

Ciò detto il Piano Urbanistico Generale promuove ed incentiva un'infrastrutturazione del territorio, mediante la tutela e la valorizzazione di invasi, naturali o artificiali esistenti o di nuova realizzazione con la finalità di migliorare la qualità ambientale generale e fornire servizi ecosistemici quali la regolazione delle acque e del microclima urbano, l'approvvigionamento idrico, il supporto alla vita e alla biodiversità, funzione culturale-educativa e ricreativa.

A tal fine sono state censite e cartografate tutte le superfici di suolo destinate a specchio d'acqua (allagato o allagabile) con estensione minima indicativamente di 3000 mq.



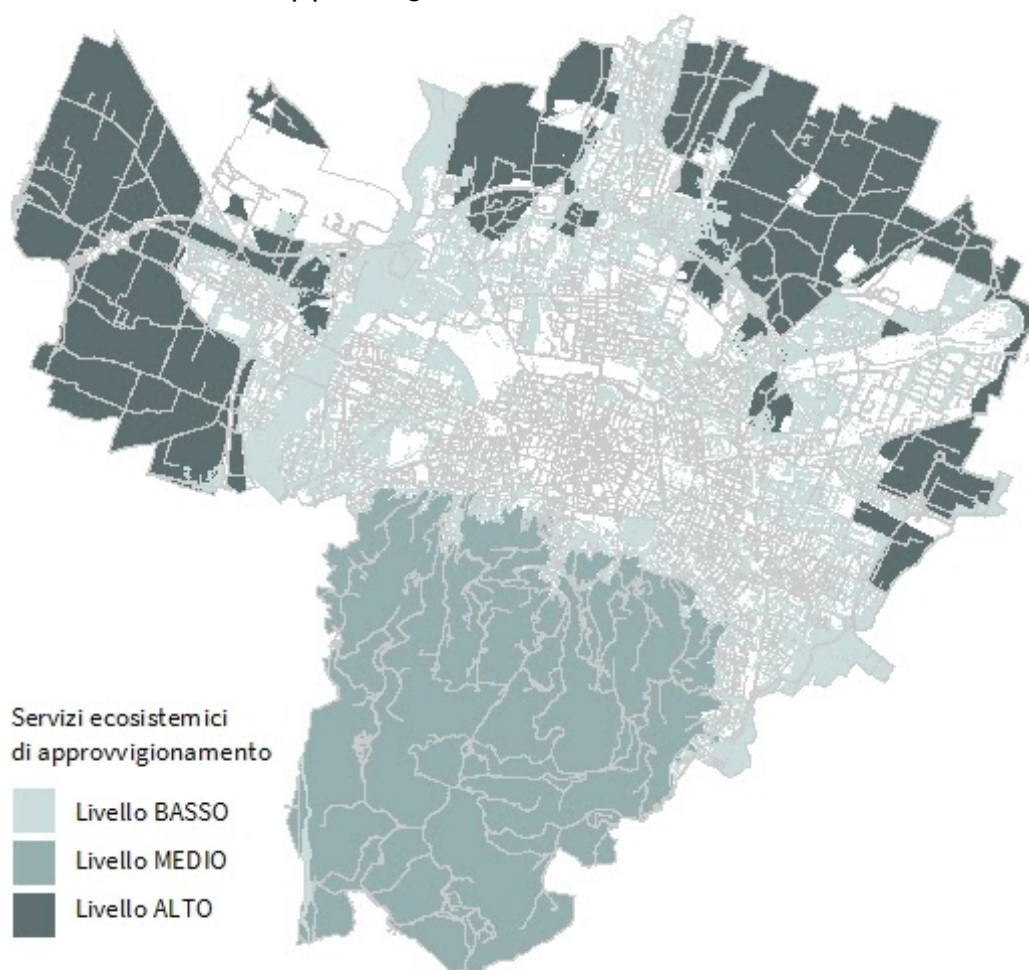


Servizi ecosistemici, prestazioni suoli

Grado di assolvimento dei servizi ecosistemici

Per ognuno dei cinque elementi costitutivi dell'ecorete urbana è stato individuato qualitativamente un grado di assolvimento dei servizi ecosistemici, che consentono – attraverso l'attribuzione di un valore alto, medio o basso per ciascun servizio – di riconoscere la funzione prevalente del suolo integro di un'area e di calare quindi sul territorio le corrette strategie, azioni e regole per conservare e/aumentare i benefici alla cittadinanza.

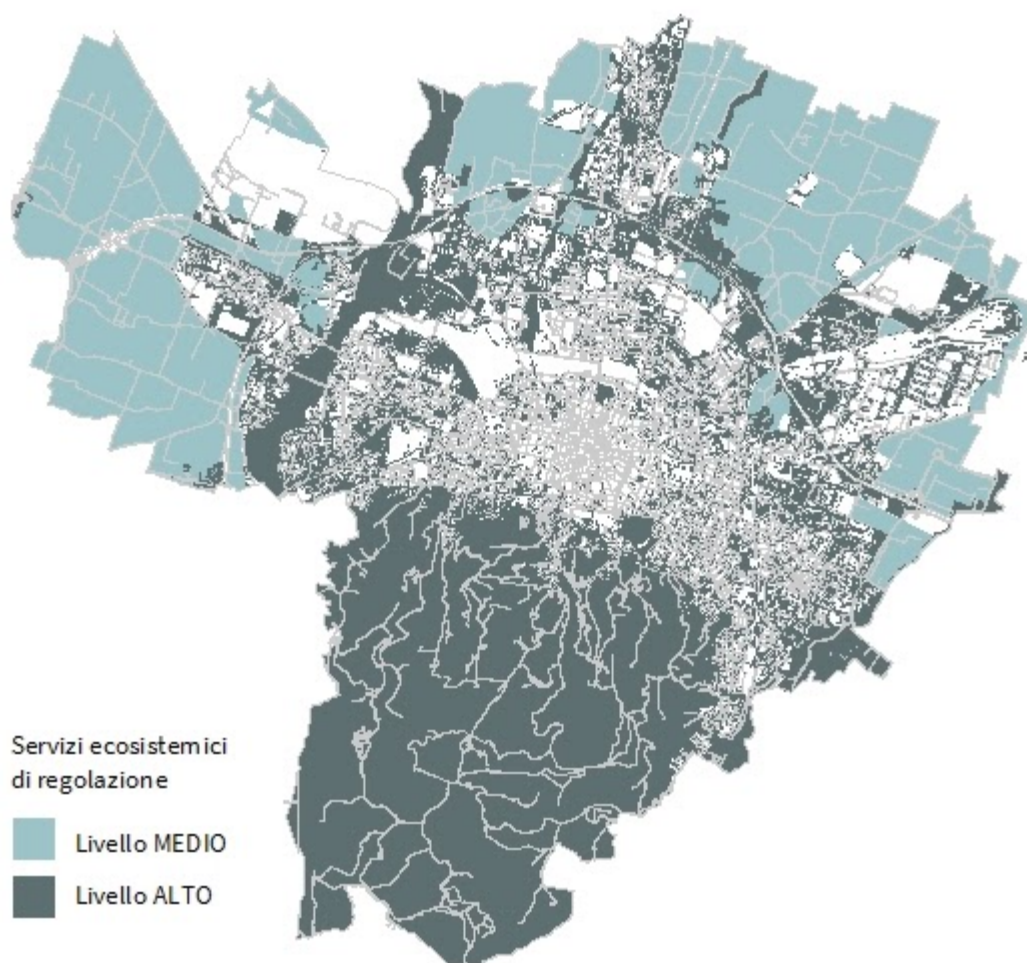
Servizi ecosistemici di approvvigionamento



Alla pianura viene riconosciuto un alto valore di approvvigionamento, legato soprattutto alle produzioni agroalimentari, vocazione che da tempo ha condizionato fortemente il paesaggio

originario, inserendo le aree perirubane bolognesi nel più ampio contesto agricolo metropolitano. In minor misura la pianura è interessata dall'approvvigionamento di materie prime naturali, nelle forme di cave di argille, sabbie e ghiaie. Alla collina è attribuito un valore medio in coerenza con la presenza di alcune attività agricole, che seppur numerose hanno però estensioni medie inferiori a un ettaro. Dal punto di vista forestale la presenza di boschi è in aumento, ma scarsa è la produzione di legna (come testimoniano le poche domande di taglio e l'assenza di viabilità forestale e manodopera specializzata).

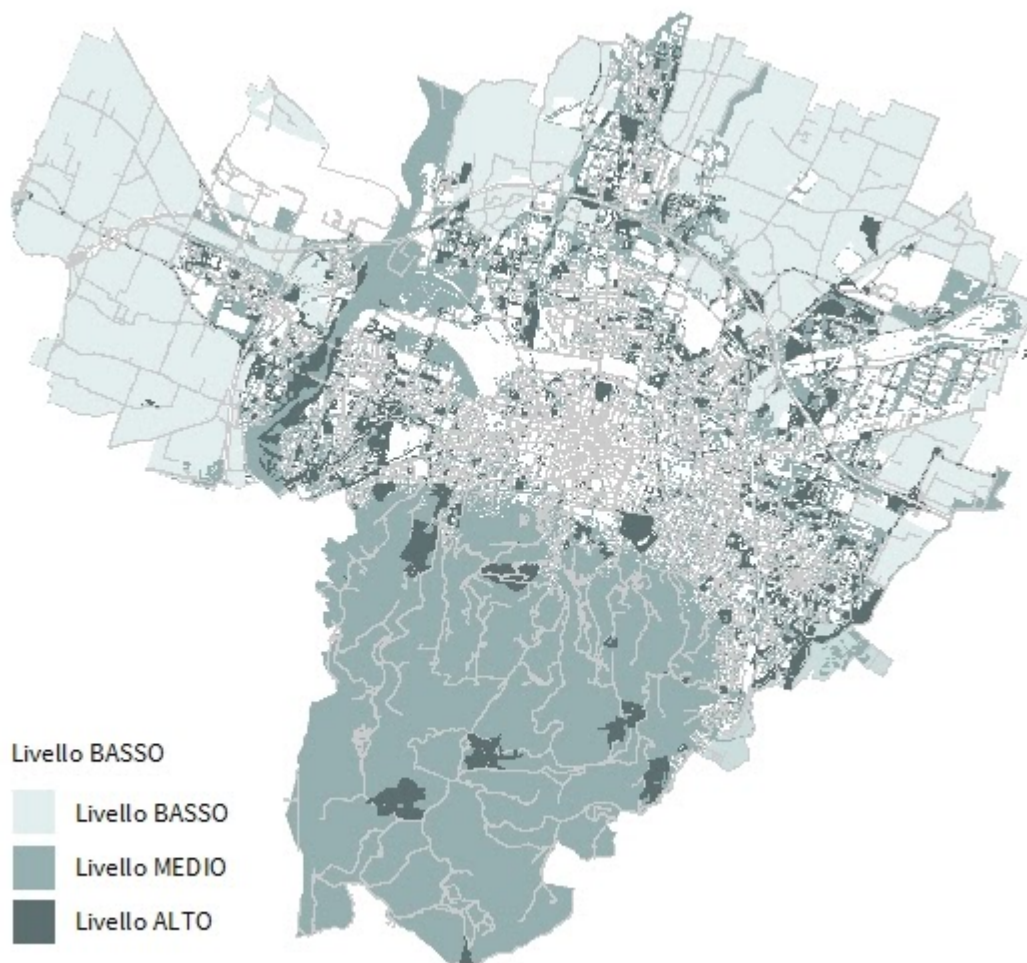
Servizi ecosistemici di regolazione dei cicli naturali



Il territorio più naturale può essere letto, oltre che in chiave di riserva e bacino per la biodiversità, anche come elemento imprescindibile per la salubrità dell'ambiente e la sicurezza delle aree più antropizzate. Le fasce fluviali, interessate da ormai frequenti fenomeni di piena a causa della pressione dei cambiamenti climatici, sono spazi sempre più critici ma anche tra i più importanti per la regolazione del ciclo dell'acqua e del clima. I servizi di regolazione sono fondamentali anche per leggere il ruolo della collina bolognese, che – oltre all'alto valore di biodiversità testimoniato anche dalla presenza del Parco Regionale dei Gessi Bolognesi e Calanchi dell'Abbadessa e dell'area di Rete Natura 2000 Boschi di San Luca e Destra Reno – eroga un fondamentale ruolo di regolazione sulla qualità dell'aria (per la presenza di una grande quantità di fitomassa) e del ciclo dell'acqua. Anche il verde pubblico e quello privato nel territorio urbanizzato svolgono un ruolo fondamentale, in virtù del fatto che si trovano in prossimità delle aree maggiormente costruite, infrastrutturate e abitate, quindi più esposte all'inquinamento dell'aria, alle isole di calore e agli effetti degli eventi meteorologici

estremi. Anche come misura di contrasto agli effetti legati ai cambiamenti climatici, dovrà essere potenziata l'erogazione di SE di regolazione in ambiente urbano.

Servizi ecosistemici sociali, fruitivi e ricreativi



Le aree verdi pubbliche rivestono naturalmente il massimo valore del parametro sociale e fruitivo essendo, per loro stessa natura, il luogo appositamente progettato per quelle attività di svago, di sport, di incontri e di contatto con gli elementi naturali che sono essenziali per garantire il benessere dei cittadini. Agli altri elementi che compongono l'ecorete urbana è attribuito il valore medio (tranne che alla pianura): il verde privato ha un ruolo importante nella qualità della residenza e della vita, soprattutto in città; nelle aree fluviali è comunque presente un buon grado di fruizione, anche in virtù di alcuni progetti che ne hanno valorizzato e favorito l'accessibilità (parchi e percorsi ciclo-pedonali); infine alla collina va riconosciuto un importante ruolo fruitivo sia per la presenza di estesi parchi pubblici collinari sia per l'abitudine di molti cittadini bolognesi a svolgere sport e passare il tempo libero nell'area naturale più vicina alla città.

Rispetto all'ambito di pianura va sottolineato che, nonostante la sua vocazione primaria sia quella produttiva, esistono alcuni territori di pregio sia paesaggistico sia culturale che esprimono una domanda di valorizzazione che può essere soddisfatta sostenendo per esempio nuove forme di gestione che contemplino anche l'educazione ambientale e la fruizione pubblica.

Nel complesso l'analisi del territorio comunale tramite i servizi ecosistemici supporta alcune strategie del piano, quali:

1. La conservazione dei SE di approvvigionamento delle aree agricole periurbane

- tutelare i residui cunei agricoli del territorio rurale periurbano, conservando la funzione produttiva dei terreni, anche valorizzandone le possibili funzioni ricreative e fruitive;
- aumentare le dotazioni ecologiche, con particolare riferimento alle fasce di salvaguardia, mitigazione e ambientazione attorno alle principali infrastrutture, a partire dall'asse Autostrada-Tangenziale;
- promuovere attività agricole in grado di coniugare redditività, rispetto per l'ambiente, funzioni ricreative e di educazione ambientale, anche attraverso la sperimentazione di nuove forme di gestione che favoriscano la fruizione pubblica;
- migliorare le generali condizioni di sicurezza idraulica e idrologica.

2. La conservazione e valorizzazione dei SE di regolazione del territorio collinare

- confermare il forte contenimento dell'attività edilizia e dell'urbanizzazione sul territorio collinare;
- tutelare le componenti peculiari idrogeologiche, morfologiche, ambientali e vegetazionali, che definiscono l'assetto della collina bolognese;
- salvaguardare o ricostituire i processi naturali degli equilibri idraulici, idrogeologici ed ecologici;
- ridurre le criticità idrauliche legate all'interferenza tra la rete idrografica e gli insediamenti, in gran parte riferibili ai tombinamenti dei rii collinari al perimetro dell'urbanizzato.

3. Il rafforzamento dei SE di regolazione delle fasce fluviali e delle aree ad esse limitrofe

- rafforzare la funzione di corridoio ecologico svolta dai corsi d'acqua e dai canali, riconoscendo anche alle fasce di pertinenza e tutela fluviale il ruolo di ambiti vitali propri del corso d'acqua, all'interno delle quali devono essere garantite la funzionalità e la sicurezza idraulica, la qualità naturalistica e la qualità paesaggistica;
- ridurre il rischio idraulico e incrementare la ricarica diretta della falde attraverso la salvaguardia dell'integrità dei suoli e la riduzione delle impermeabilizzazioni anche attraverso interventi di diradamento edilizio, in particolare nelle aree a rischio inondazione.

4. La salvaguardia e lo sviluppo dei SE di regolazione erogati dal verde privato

- salvaguardare le superfici permeabili, le aree verdi e le alberature private;
- incrementare del bilancio arboreo privato, anche attraverso fasce boscate polifunzionali di mitigazione o inserimento ambientale di impianti o attività produttive e commerciali;
- incrementare le coperture a verde, il rinverdimento degli edifici e delle superfici, in particolare all'interno delle zone con maggiore densità abitativa.

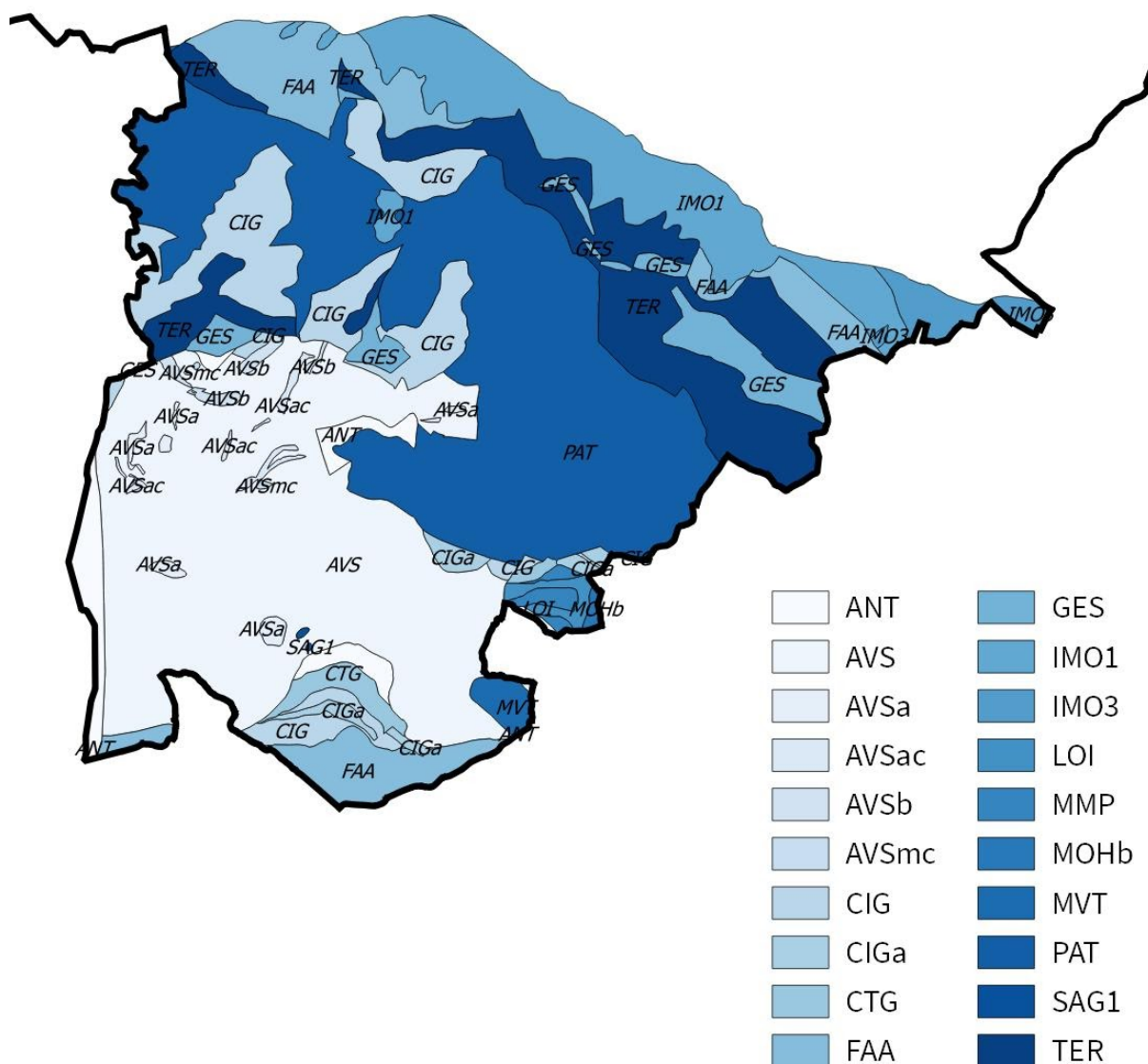
5. Il potenziamento dei SE fruitivi e sociali e dei SE di regolazione erogati dalle aree verdi pubbliche

- prevedere la realizzazione di nuove ampie aree verdi pubbliche, in particolare all'interno del territorio urbanizzato;
- incrementare il bilancio arboreo pubblico anche attraverso interventi di forestazione urbana e realizzazione di filari e fasce arboree polifunzionali a mitigazione di infrastrutture;
- incrementare il drenaggio al suolo delle acque meteoriche.



Suolo, inquadramento idrogeologico della collina

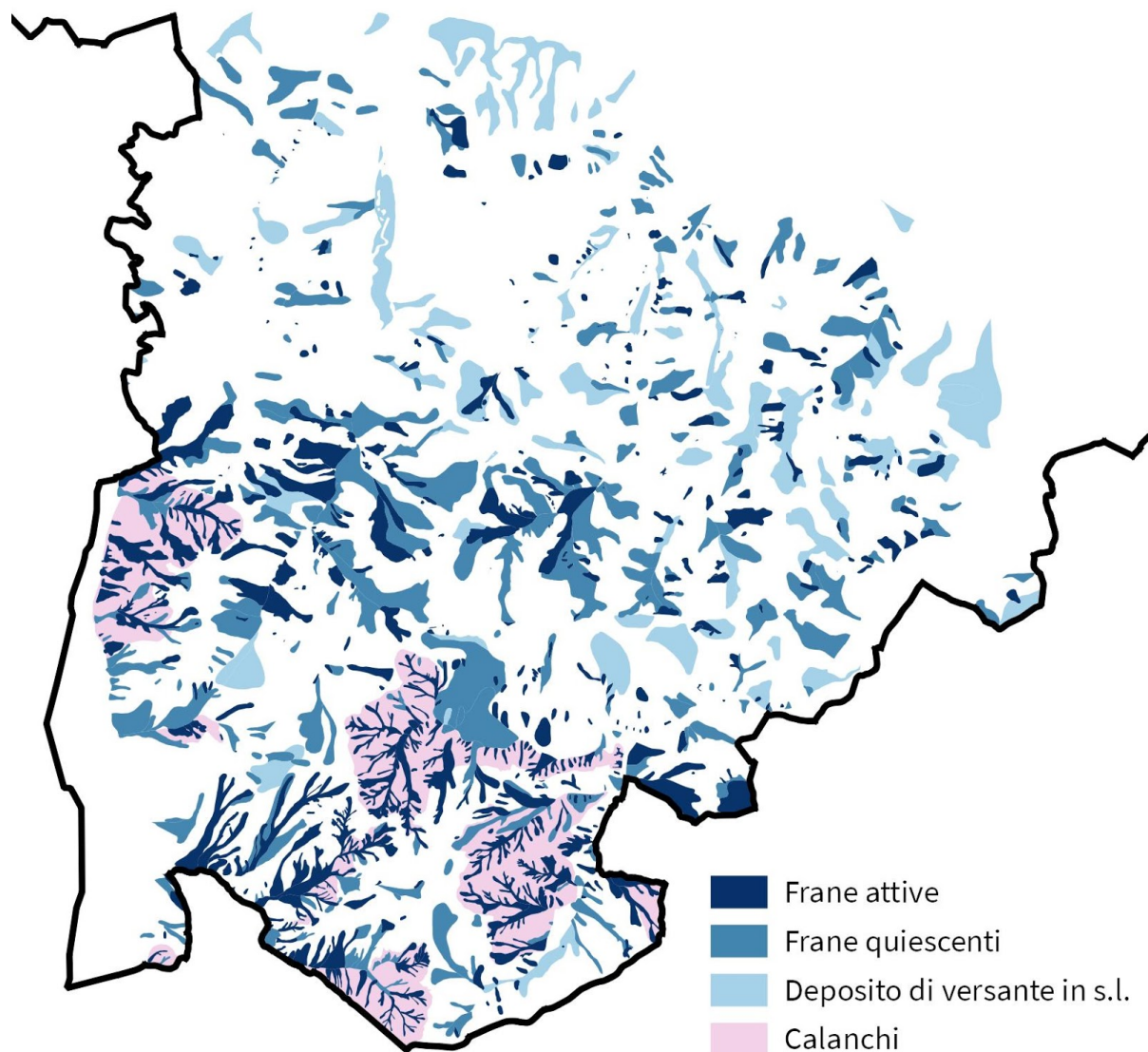
Inquadramento geologico



Lo schema geologico che caratterizza il substrato collinare risulta suddivisibile in due principali tipologie arealmente distinte: la porzione settentrionale risulta occupata da formazioni con carattere

prevalentemente litoide ed assetto strutturale regolare, la parte meridionale da formazioni prettamente di tipo argilloso ad assetto caotico. I terreni sono costituiti principalmente da depositi arenitici e pelitici della Formazione di Pantano (PAT), dalle argille e argille siltose della Formazione delle Argille Varicolori della Valsamoggia (AVS), marne ed arenarie risedimentate della Formazione di Cigarellino e della Formazione del Termina (CIG - TER), dai gessi della Formazione Gessoso-Solfifera (GES), argille e marne di mare aperto (FAA) e depositi sabbiosi di mare basso, spiaggia e dune eoliche (Formazione delle Sabbie di Imola - IMO).

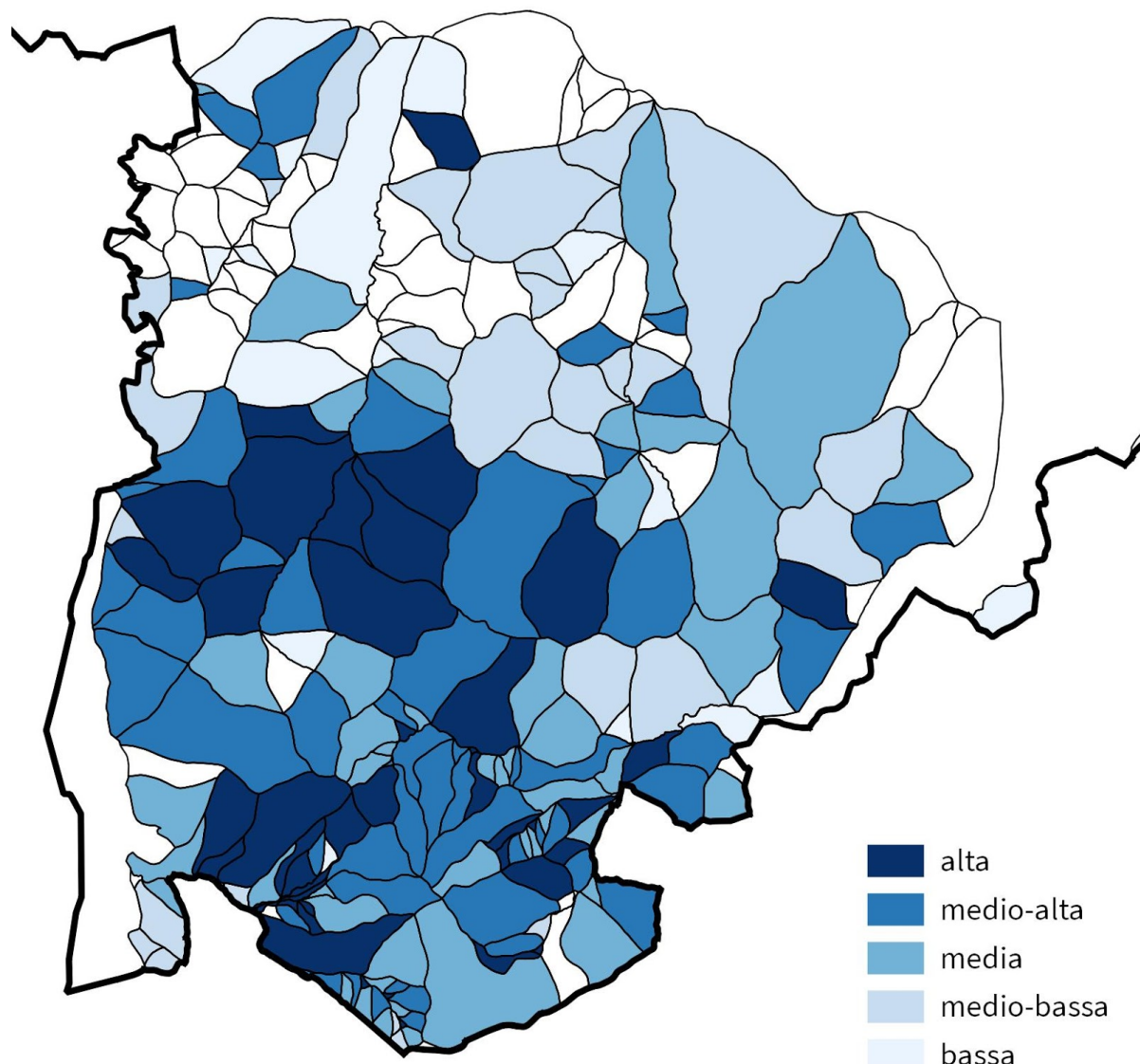
Inventario del dissesto



Nella Carta del dissesto del Comune di Bologna trovano rappresentazione i movimenti gravitativi attivi e quiescenti che interessano l'area collinare, che riguardano oltre il 30% della sua estensione. Si tratta prevalentemente di fenomeni di scivolamento, colamento di fango o detritico e movimenti complessi, che nella maggioranza dei casi coinvolgono le litologie più superficiali del versante; le aree in dissesto si impostano con maggior frequenza in corrispondenza delle litologie prevalentemente argillose e caratterizzate da assetto irregolare diffuse nella porzione meridionale dell'area collinare. In carta sono

anche rappresentati i depositi di versante, prodotti sia per azione gravitativa sia di natura eluvio-colluviale ed i calanchi.

Pericolosità da frana

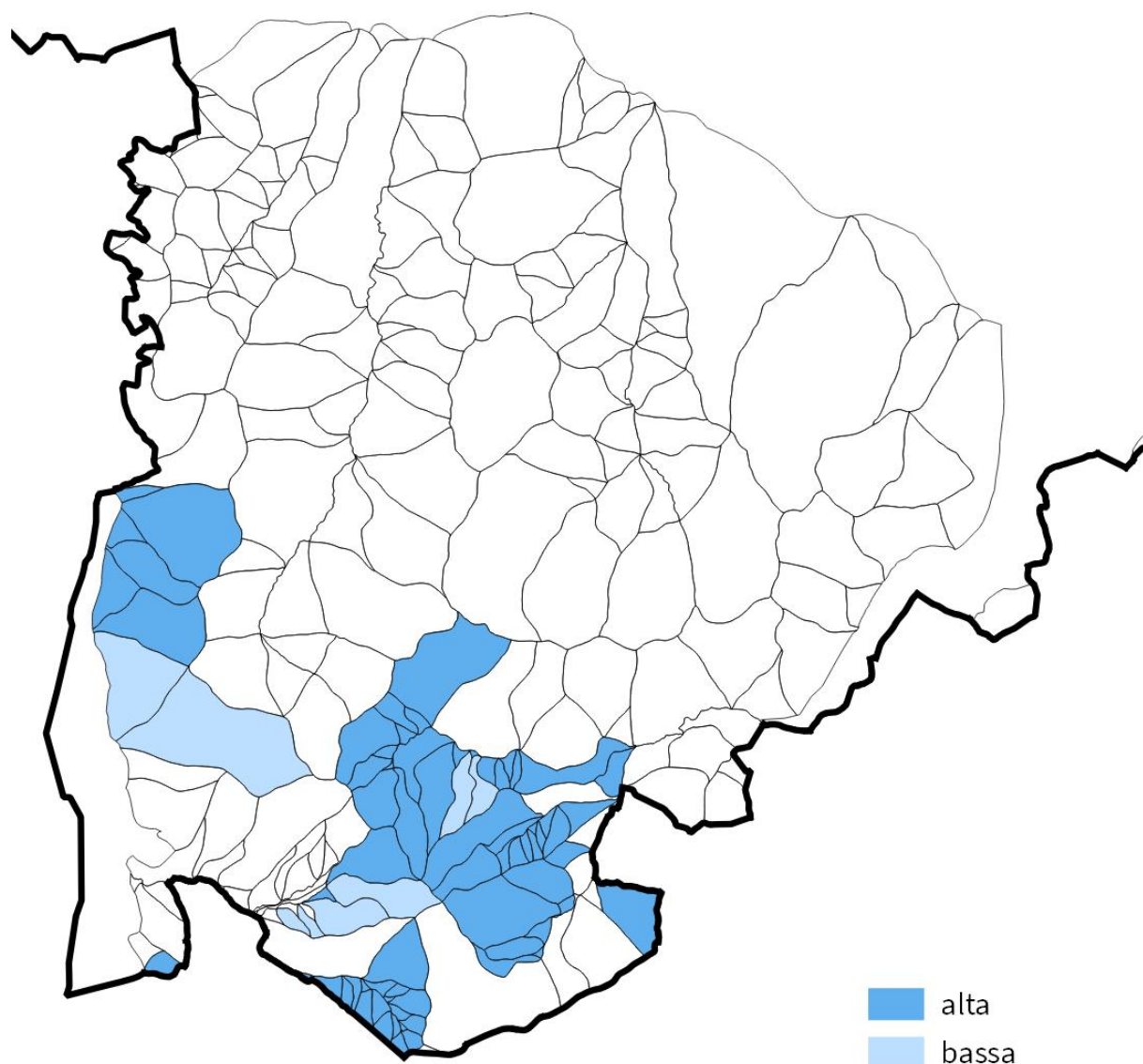


Il territorio collinare è stato classificato in diverse classi in base al grado di pericolosità relativa attraverso il calcolo dell'indice di dissesto per frana (I.F.) che esprime lo stato di dissesto sulla base di fenomeni gravitativi già verificatisi ed è espresso dalla seguente equazione:

$I.F. = sF(U.I.E.) / s(U.I.E.)$ dove $sF(U.I.E.)$ = superficie in frana di una determinata U.I.E., $s(U.I.E.)$ = superficie di una determinata U.I.E e (U.I.E) : Unità Idromorfologica elementare.

Gli indici di dissesto ottenuti sono stati raggruppati in cinque classi di intensità.

Pericolosità da calanco

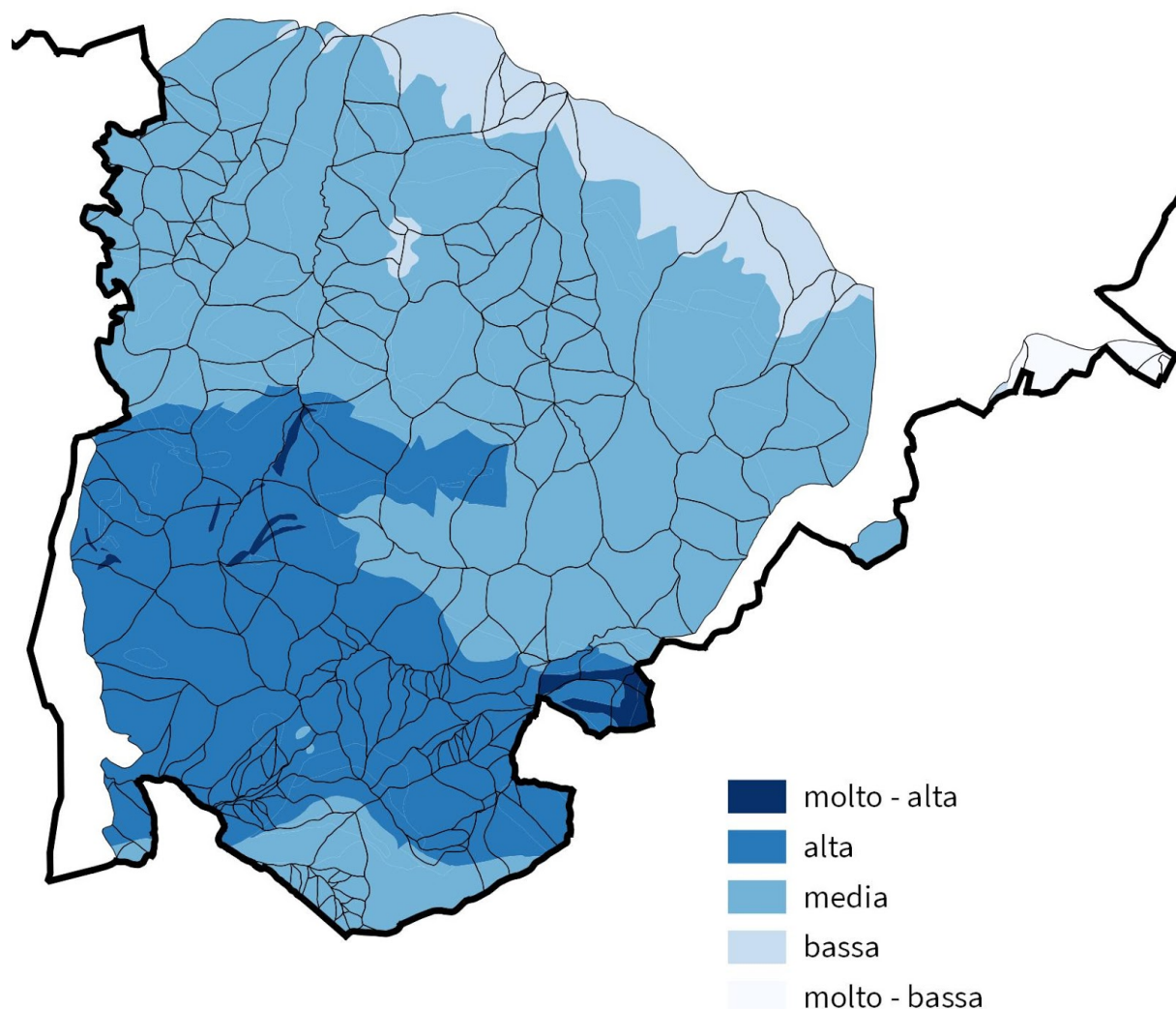


L'indice di dissesto è stato calcolato non solo per i movimenti di massa (I.F.), ma anche per i calanchi; le U.I.E. coinvolte sono state raggruppate in due classi di intensità di pericolosità per calanchi, alta e bassa.

Il calcolo dell'indice di dissesto osservato per calanco (I.C.) è esplicitato dalla seguente equazione:

$I.C. = sC(U.I.E.) / s(U.I.E.)$ dove I.C. = Indice di dissesto per calanco, $sC(U.I.E.)$ = superficie dei calanchi in una determinata U.I.E. e $s(U.I.E.)$ = superficie di una determinata U.I.E.

Propensione al dissesto



La propensione al dissesto è l'espressione della diversa capacità che le formazioni geologiche hanno di mantenere un assetto stabile in presenza di sollecitazioni ambientali che ne modificano le proprietà fisico meccaniche e gli equilibri geomorfologici. L'indice di propensione al dissesto viene calcolato sulla base del rapporto tra la superficie in dissesto riscontrata in corrispondenza di una determinata formazione geologica e la superficie di quest'ultima. Il calcolo dell'indice di (I.P.) è esplicitato dalla seguente equazione:

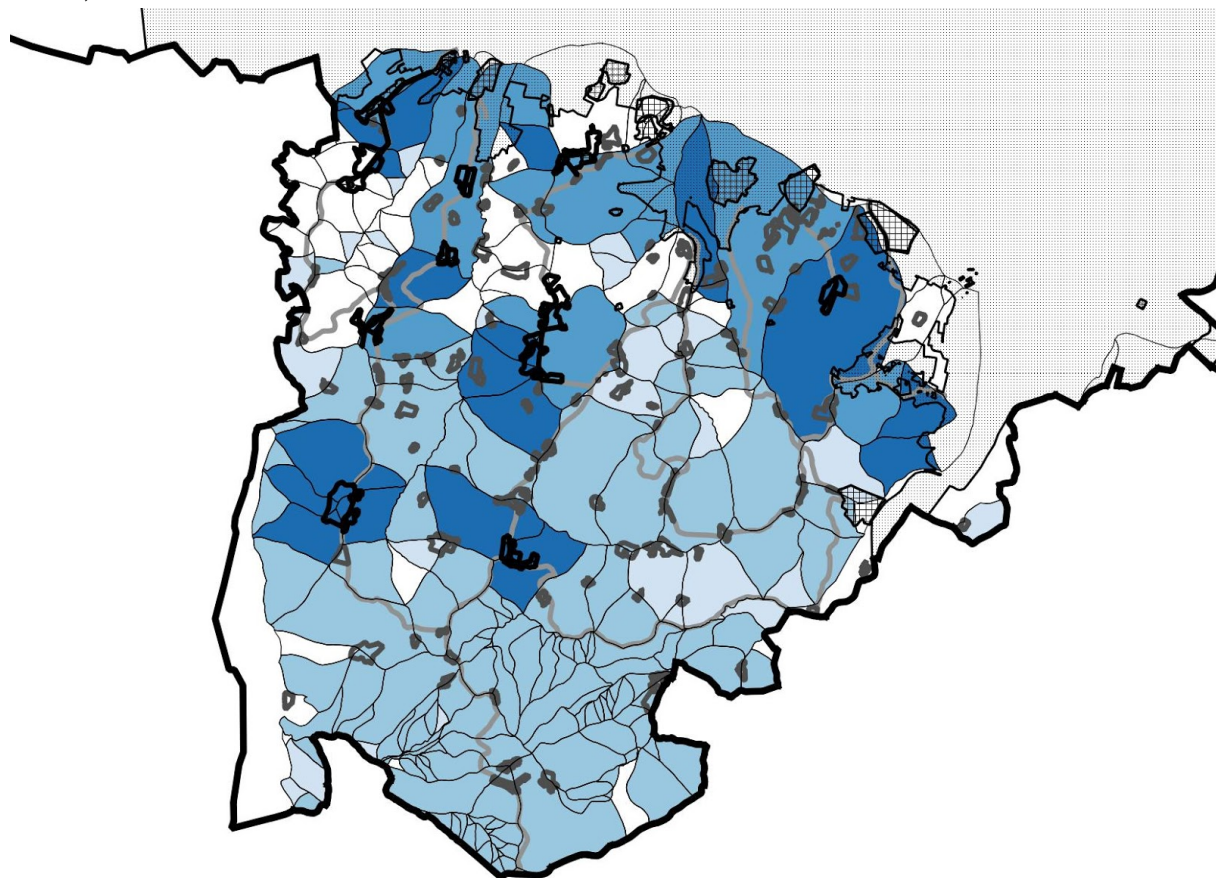
$I.P. = sF(F.G.) / s(F.G.)$ dove I.P. = Indice di propensione al dissesto, sF(F.G.) = superficie complessiva in frana all'interno di una determinata formazione geologica (F.G.) e s(F.G.) = superficie di una determinata formazione geologica (F.G.)

Rischio da frana

Per l'elaborazione della Carta del Rischio gli indici di dissesto calcolati per frane (I.F.) e calanchi (I.C.) sono stati raggruppati in quattro classi di pericolosità (P) → P1, P2, P3 e P4 e si è assunto come definizione di rischio (R) il prodotto della pericolosità relativa (P) per il valore relativo degli elementi

esposti (V.E): $R = P \times (V.E.)$. Attraverso l'applicazione del concetto semplificato di rischio ($R = P \times V.E.$), è stato incrociato il dissesto osservato, desunto dalle Carte della Pericolosità (P), con il Valore degli Elementi Esposti a rischio (V.E.), intesi come insediamenti urbani (centro abitato, nucleo abitato, beni architettonici, case sparse, ecc.), strade, infrastrutture di servizio.

La matrice sotto riportata ha permesso di definire 4 classi di rischio: R1 – rischio moderato, R2 – rischio medio, R3 – rischio elevato e R4 – rischio molto elevato.



ELEMENTI A RISCHIO

- strade strategiche
- ▨ centro abitato
- ▭ nucleo abitato
- ▭ case sparse
- ▨ beni architettonici

CLASSI DI RISCHIO

- molto elevato
- elevato
- medio
- moderato

	V.E.1	V.E.2
P1	R1	R3
P2	R1	R3
P3	R2	R4
P4	R2	R4



Suolo, microzonazione sismica di II livello

Contenuti dello studio

Il Comune di Bologna ha beneficiato di contributi stanziati dal Dipartimento della Protezione Civile nazionale per la realizzazione di studi comunali di microzonazione sismica (livello 2) e di analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE), come previsto dalla Legge 77/2009 e ai sensi dell'Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 532/2018, recepita dalla Regione Emilia-Romagna con Deliberazione della Giunta Regionale n. 2047/2018. Lo studio di MS di livello 2 e le analisi della CLE sono stati affidati allo Studio scrivente.

Sono state dunque espletate le seguenti attività:

- raccolta dati geognostici e geofisici disponibili ed esecuzione di alcune indagini integrative;
- elaborazione dello studio di microzonazione sismica (MS) di livello 1 e di livello 2 per il territorio urbanizzato/urbanizzabile;
- elaborazione delle analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE);
- archiviazione dei dati e adeguamento delle cartografie secondo gli standard di rappresentazione e archiviazione previsti per la MS e la CLE.

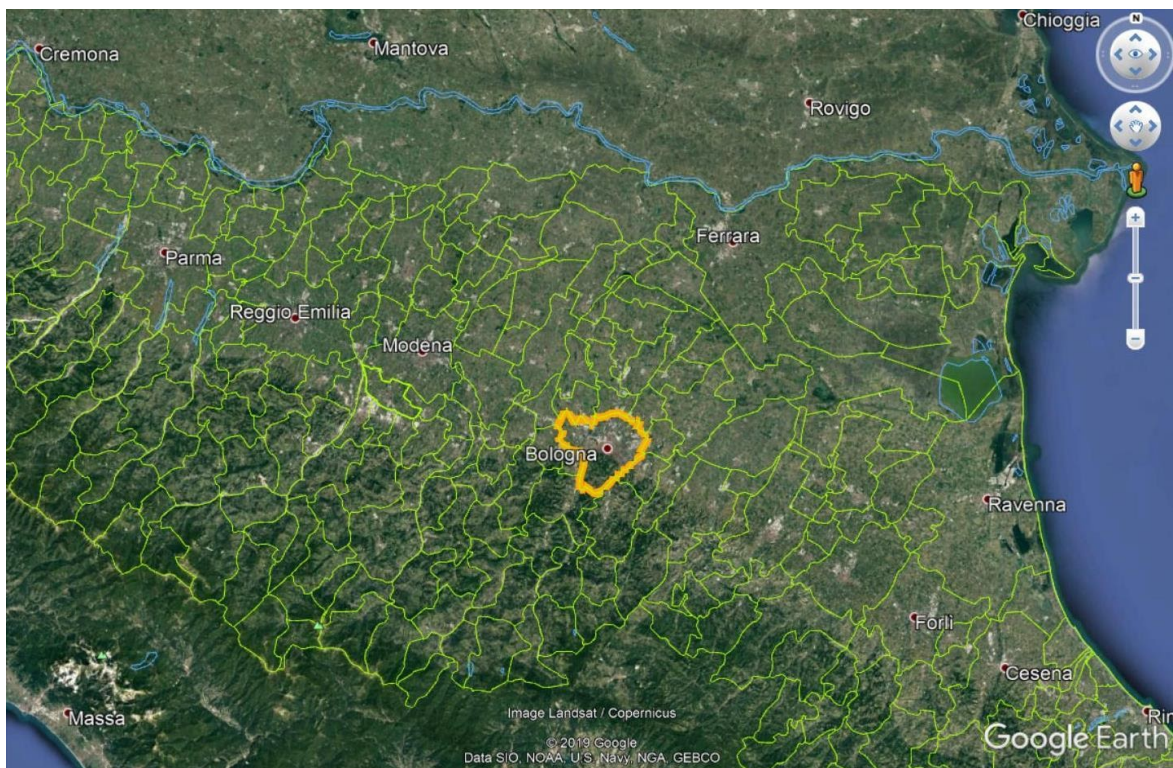


Figura 1.1. Localizzazione del territorio amministrativo del Comune Bologna (foto aerea: "Google Earth")

La figura 1.1 offre un inquadramento del limite comunale di Bologna: si tratta di un territorio amministrativo situato in un contesto morfologico compreso tra il margine dell'Appennino Tosco-Emiliano e la pianura Padana, di estensione areale totale pari a quasi 141 kmq e con una popolazione di 390.636 abitanti (dato ISTAT 01/01/2019).

La figura 1.2 localizza con maggior dettaglio il territorio interessato dallo studio di microzonazione sismica, che comprende tutte le aree urbane con un suo significativo intorno. Lo studio di MS è stato inoltre esteso a tutto il territorio amministrativo di pianura, in quanto interessato da un'alta densità di reti infrastrutturali.

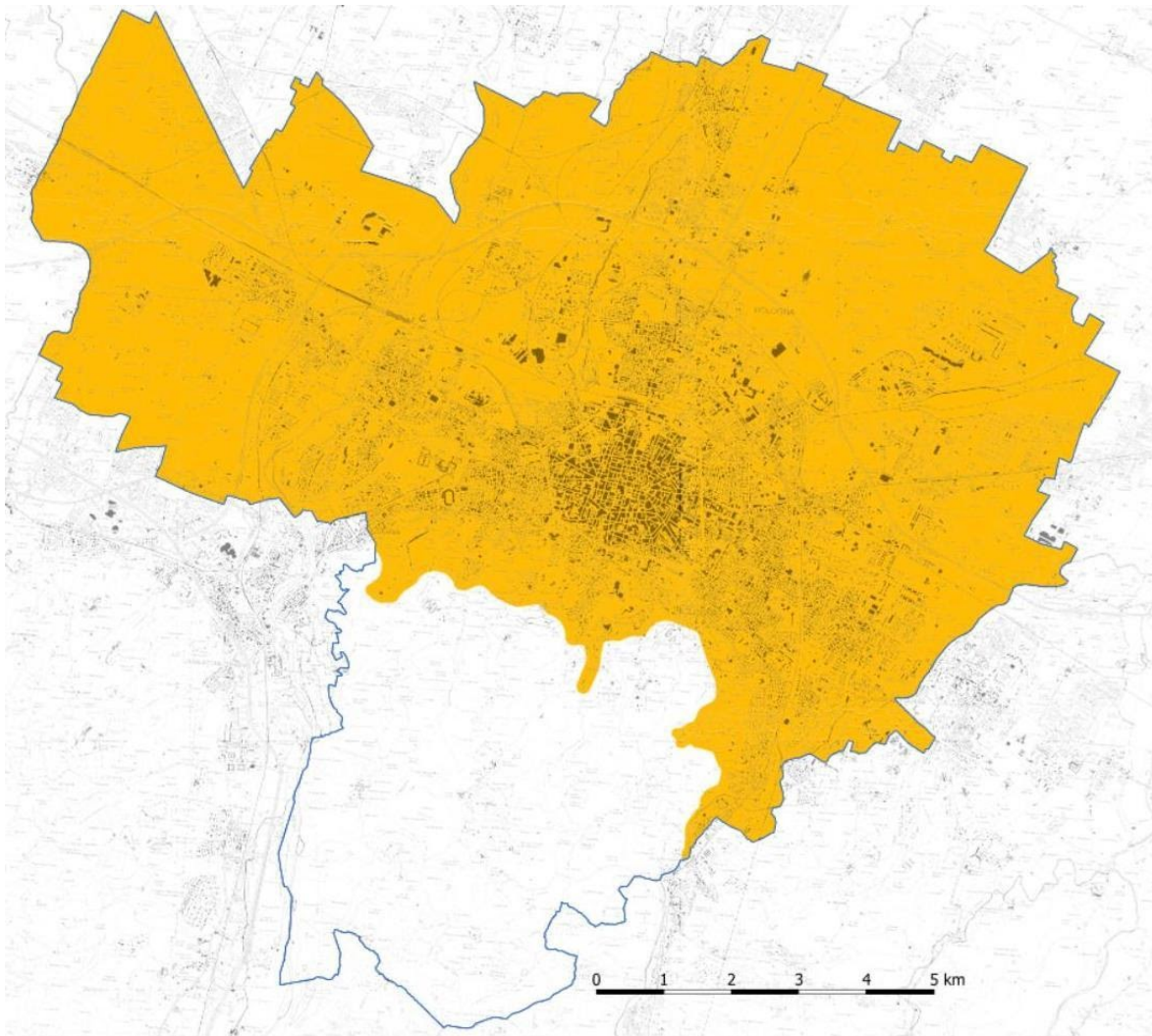


Figura 1.2. Estensione del territorio comunale oggetto di microzonazione sismica evidenziato in giallo ocra (base topografica Regione Emilia-Romagna – CTR 1:25.000)

Riferimenti normativi

Il presente lavoro è redatto sulla base delle indicazioni contenute nell'Allegato A2 della Delibera n. 2047/2018 della Giunta della Regione dell'Emilia-Romagna: "Criteri per la realizzazione degli studi di microzonazione sismica e analisi della Condizione Limite per l'Emergenza, di cui all'Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 532/2018 e Decreto del Capo della Protezione Civile del 9 agosto 2018". Per quanto non specificato nel suddetto documento, i riferimenti tecnici per la realizzazione dello studio e per l'elaborazione e la redazione delle tavole cartografiche sono rappresentati dai seguenti testi:

1. "Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica versione 4.1", redatto dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, novembre 2018), da qui in avanti "Standard MS 4.1";
2. "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica", approvato dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome e successive modifiche e integrazioni (Gruppo di lavoro MS, 2008; AA.VV., 2011), da qui in avanti "ICMS".

Nella redazione dello studio ci si è inoltre riferiti alle seguenti normative:

- A. Deliberazione della Giunta Regionale n. 630/2019 "Atto di Coordinamento Tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017)"
- B. LR 30/10/2008 n.19 "Norme per la riduzione del Rischio Sismico";
- C. LR 21/12/2017 n.24 "Disciplina regionale sulla tutela e l'uso del territorio";
- D. DM del 17/01/2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni".

Gli elaborati a corredo dello studio

Gli elaborati dello studio di microzonazione sismica per il Comune di Bologna sono i seguenti:

- la presente Relazione Descrittiva (riprodotta in formato *.pdf) che, oltre a caratterizzare e inquadrare le aree oggetto delle analisi nel contesto geologico, geomorfologico e sismotettonico regionale, descrive le metodologie seguite e illustra i risultati dello studio di microzonazione rappresentati nelle diverse cartografie;
- le tavole cartografiche (riprodotte in formato *.pdf) elencate in tabella 1.1 e illustrate in dettaglio nel capitolo 8;
- l'archivio informatizzato dei dati delle indagini (alfanumerici e cartografici in formato *.shp – shapefile);
- le sezioni geologiche di riferimento per il territorio studiato (riprodotte in formato *.pdf), contenute nell'Allegato 1;
- le sezioni topografiche pubblicate per la stima degli effetti topografici per il territorio studiato (riprodotte in formato *.pdf), contenute nell'Allegato 2.

Tabella 1.1. Elaborati cartografici predisposti per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Bologna

Elaborato cartografico	Sigla Tavola	Scala
Carta delle indagini	Tavola 1a/b/c/d	1:10.000
Carta geologico-tecnica	Tavola 2a/b/c/d	1:10.000
Carta delle frequenze naturali dei terreni	Tavola 3a/b/c/d	1:10.000
Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)	Tavola 4a/b/c*	1:10.000
	Tavola 4d/e**	1:5.000

Carta delle velocità delle onde di taglio S	Tavola 5a/b/c/d	1:10.000
Carta di microzonazione sismica livello 2 - FA _{PGA}	Tavola 6a/b/c*	1:10.000
	Tavola 6d/e**	1:5.000
Carta di microzonazione sismica di livello 2 – FA _{SI1}	Tavola 7a/b/c*	1:10.000
	Tavola 7d/e**	1:5.000
Carta di microzonazione sismica di livello 2 – FA _{SI2}	Tavola 8a/b/c*	1:10.000
	Tavola 8d/e**	1:5.000
Carta di microzonazione sismica di livello 2 – FA _{S3}	Tavola 9a/b/c*	1:10.000
Carta di microzonazione sismica di livello 2 – FA _{SA1}	Tavola 10a/b/c*	1:10.000
	Tavola 10d/e**	1:5.000
Carta di microzonazione sismica di livello 2 – FA _{SA2}	Tavola 11a/b/c*	1:10.000
	Tavola 11d/e**	1:5.000
Carta di microzonazione sismica di livello 2 – FA _{SA3}	Tavola 12a/b/c*	1:10.000
	Tavola 12d/e**	1:5.000
Carta di microzonazione sismica di livello 2 – FA _{SA4}	Tavola 13a/b/c*	1:10.000
Carta della distribuzione dei valori di H _{SM}	Tavola 14a/b/c*	1:10.000
	Tavola 14d/e**	1:5.000

(*Riferiti al territorio comunale di pianura; ** Riferiti al territorio comunale di collina)

Tutti gli elaborati sono stati realizzati secondo le specifiche indicate nella DGR 2047/2018 della Regione Emilia-Romagna. Tali specifiche rimandano sostanzialmente alle linee guida emanate dal Dipartimento della Protezione Civile con gli Standard MS v.4.1 (CTMS, 2018), che dettagliano ogni aspetto legato a tali studi. Sono inoltre coerenti con la successiva DGR 630/2019. Si segnala a questo proposito che l'obbligo di attenersi in modo rigoroso ai suddetti standard di rappresentazione, ha vincolato il presente lavoro sia a livello di articolazione delle tavole (numero e tipologia) e della relazione (titoli e ordine dei capitoli), che a livello di rappresentazione cartografica (tematismi rappresentati, legende e denominazioni, ma anche layout, colori e font dei caratteri) e di contenuti descrittivi.

Le cartografie elaborate hanno utilizzato come base topografica di riferimento i raster tipografici georeferenziati della Regione Emilia dalla Regione Emilia Romagna (DBT scala 1.5.000), aggiornati al 2013. Per questo lavoro, la base topografica raster è stata georeferenziata secondo il sistema di riferimento richiesto, ovvero nelle coordinate "WGS_1984_UTM_Zone_33N", per produrre tutti gli strati informativi in formato numerico in coerenza con quanto richiesto dagli Standard MS v.4.1 (CTMS, 2018).

Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento

Riferimenti bibliografici

La sismicità di un territorio è strettamente connessa al suo contesto tettonico-strutturale, dunque alla presenza di strutture geologicamente "attive". Alla base di ogni stima della pericolosità sismica di un territorio vi è quindi l'indispensabile conoscenza della sua storia sismica (cioè di tutte le informazioni

sui terremoti avvenuti nel passato) e della geologia strutturale locale, fattori strettamente connessi tra loro.

A supporto della redazione del presente capitolo, sono stati utilizzati i dati liberamente consultabili di database pubblici sviluppati da diversi enti e gruppi di ricerca:

- il **CPTI15 - Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani versione 2015** (Rovida et al., 2016; <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15>), che raccoglie i parametri dei terremoti avvenuti in Italia con intensità massima ≥ 5 o magnitudo ≥ 4.0 d'interesse nella finestra temporale 1000-2014
- il **DBMI15 - Database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani** utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI15 e provenienti da diverse fonti. È relativo ai terremoti con intensità massima ≥ 5 e d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2014 (Locati et al., 2016 <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>) e la sua precedente versione DBMI04 (Stucchi et al., 2007);
- il **CFTI5Med - Catalogo dei Forti Terremoti in Italia e in area mediterranea** (Guidoboni et al., 2018), che riporta per numerose località i risentimenti di circa 300 tra i terremoti storici più forti avvenuti sul territorio italiano, e fornisce anche informazioni sul contesto storico, sociale e demografico in cui gli eventi si sono prodotti, sui parametri epicentrali, sugli effetti dei terremoti sull'ambiente fisico (fagliazione superficiale, frane sismo-indotte, liquefazioni, maremoti, ecc.), sul danneggiamento dei centri storici e di beni monumentali;
- la **Mappa di Pericolosità Sismica Nazionale** (INGV, 2004; <http://esse1.mi.ingv.it/>) che definisce una “pericolosità di base” su un reticolo di punti di riferimento. Ad essi sono attribuiti, per nove differenti periodi di ritorno del sisma atteso, i valori di accelerazione orizzontale massima del suolo (ag) e dei principali “parametri spettrali”, da utilizzare per il calcolo dell'azione sismica;
- la **Zonazione Sismogenetica ZS9** (Meletti e Valensise, 2004 (<http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/App2.pdf>), che individua sul territorio italiano 42 macrozone-sorgente e ha rappresentato il riferimento per i calcoli di pericolosità sismica nel territorio nazionale di cui al punto precedente;
- il **Database delle Sorgenti Sismogenetiche Italiane DISS versione 3.2.1** (DISS Working Group, 2018), che contiene sorgenti individuali e composite di terremoti, intese come una rappresentazione georeferenziata semplificata e in 3D di faglie (sorgenti individuali) o regioni contenenti faglie (sorgenti composite) in grado di generare terremoti di M 5.5 o superiore.

Sismicità storica

Il DBMI15 (Locati et al., 2016), riporta per il Capoluogo 204 eventi sismici (figura 2.1), di cui 106 con effetti macrosismici più significativi per i manufatti esistenti (Intensità ≥ 4) ed elencati nella seguente tabella 2.1. La figura 2.2 riporta invece la localizzazione epicentrale degli eventi sismici più significativi segnalati nel bolognese (CPTI15 v.2.0).

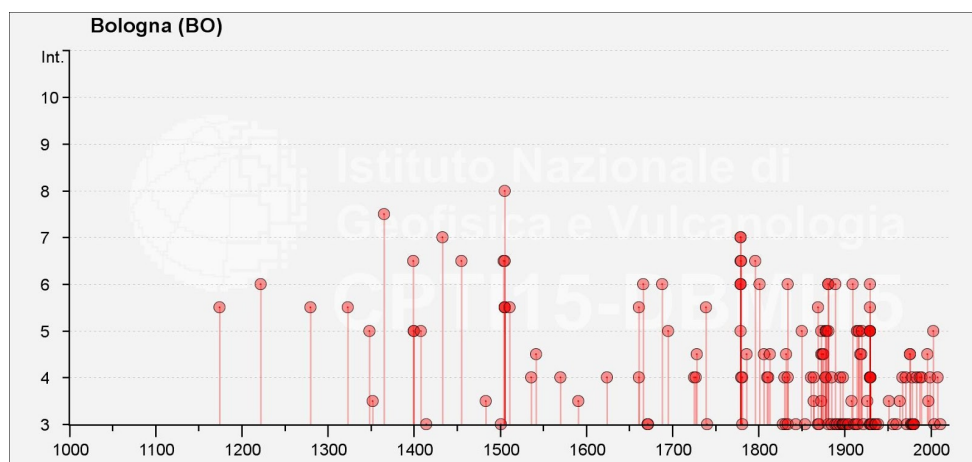


Figura 2.1. Grafico rappresentativo dei terremoti significativi per il Bologna e macrointensità stimata (fonte: INGV – Database Macrosismico Italiano 2015)

Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
5-6	1174 08 17 18	Val Padana	3	4-5	3,93
6	1222 12 25 12 30	Bresciano-Veronese	18	7-8	5,68
5-6	1280 01 25	Pianura emiliana	2	5-6	4,4
5-6	1323 02 25 19	Bologna	2	5	4,16
5	1348 01 25	Alpi Giulie	89	9	6,63
7-8	1365 07 25 18	Bologna	1	7-8	5,33
6-7	1399 07 20 23	Appennino modenese	6	7	5,1
5	1400 02 29 19 15	Bologna	1	5	4,16
5	1400 03 03 12 15	Bologna	1	5	4,16
5	1408 01 03 16 30	Bologna	2	4	3,7
7	1433 05 04 08 05	Bologna	4	6	4,63
6-7	1455 12 20 20 45	Appennino bolognese	5	5-6	4,4
6-7	1504 12 31 04	Bolognese	15	6	5,02
8	1505 01 03 02	Bolognese	31	8	5,62
6-7	1505 01 20 23 50	Bolognese	11	5-6	4,76
5-6	1505 01 27 02 40	Bolognese	2	5	4,16
5-6	1505 04 03 12 25	Bolognese	1	5-6	4,4
5-6	1505 05 15	Bolognese	1	5-6	4,4
5-6	1511 03 26 15 30	Friuli-Slovenia	120	9	6,32
4	1536 08 17 00 05	Appennino settentrionale	10	6-7	5,12
4-5	1542 06 13 02 15	Mugello	46	9	6,02

Tabella 2.1. Terremoti significativi per Bologna con macrointensità stimata ≥ 4 (fonte: INGV – Database Macrosismico Italiano 2015)

Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
4	1570 11 17 19 10	Ferrarese	58	7-8	5,44
4	1624 03 19	Argenta	18	7-8	5,43
4	1661 03 21 23	Modenese	4	6-7	4,86
5-6	1661 03 22 12 50	Appennino forlivese	79	9	6,05
6	1666 04 14 18 58	Bolognese	3	5	4,16
6	1688 04 11 12 20	Romagna	39	8-9	5,84
5	1695 02 25 05 30	Asolano	107	10	6,4
4	1725 10 29 17 40	Appennino tosco-emiliano	28	8	5,67
4	1727 03 09 11	Mugello	6	6-7	4,93
4-5	1728 02 04 03	Bolognese	2	5-6	4,4
5-6	1739 07 31 11	Bologna	1	5-6	4,4
6	1779 06 01 23 55	Bolognese	8		
6	1779 06 02 07 30	Bolognese	3		
7	1779 06 04 07	Bolognese	12	7	5,22
6-7	1779 06 10 08 35	Bolognese	10		
7	1779 07 14 19 30	Bolognese	17		
5	1779 08 20 10 50	Bolognese	2	5	4,16
6	1779 11 23 18 30	Bolognese	14	5	4,7
6-7	1780 02 06 04	Bolognese	9	6-7	5,06
4	1780 09 22 13 45	Forlivese	3	4-5	3,93
4	1781 04 04 21 20	Faentino	96	9-10	6,12
4-5	1786 12 25 01	Riminense	90	8	5,66
6-7	1796 10 22 04	Emilia orientale	27	7	5,45
6	1801 10 08 07 52 53.00	Bolognese	6	6	4,9
4-5	1806 02 12	Reggiano	28	7	5,21
4	1810 12 25 00 45	Pianura emiliana	33	6	5,06
4	1811 07 15 22 44	Modenese-Reggiano	19	6-7	5,13
4-5	1813 09 21 07 45	Romagna	12	7	5,28
4	1830 01 26 04 30	Alto Reno	11	5	4,53
4-5	1832 03 13 03 30	Reggiano	97	7-8	5,51
4	1834 02 14 13 15	Val di Taro-Lunigiana	112	9	5,96
6	1834 10 04 19	Bolognese	12	6	4,71
5	1850 09 18 06 20	Modenese	7	5	4,16
4	1861 10 16	Romagna	10	6-7	5,13
4	1864 12 11 17 40	Mugello	9	7	5,11
5-6	1869 06 25 13 58	Appennino bolognese	18	7-8	5,43
5	1873 06 29 03 58	Alpago Cansiglio	197	9-10	6,29
4-5	1873 09 17	Appennino tosco-ligure	64	6-7	5,26
4-5	1874 10 07	Imolese	60	7	4,96
4-5	1875 03 17 23 51	Costa romagnola	144	8	5,74
5	1878 03 12 21 36	Bolognese	31	6	4,84
5	1878 04 05 09 46	Bolognese	6	6	4,63
4	1878 06 04 14 40	Bolognese	13	5	4,52
4	1878 11 09 17 48 50.00	Tossignano	8	5	4,53
5	1879 04 27 04 06	Appennino tosco-emiliano	20	7	5,03
6	1881 01 24 16 14	Bolognese	38	7	5,22
5	1881 01 25 07 06	Bolognese	18	5	4,59
6	1881 02 14 09 00 30.00	Appennino bolognese	21	6	4,77

Tabella 2.1 (segue). Terremoti significativi per Bologna con macrointensità stimata ≥ 4 (fonte: INGV – Database Macrosismico Italiano 2015)

Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
4	1885 02 26 20 48	Pianura Padana	78	6	5,01
6	1889 03 08 02 57 04.00	Bolognese	38	5	4,53
4	1895 05 18 19 55 12.00	Fiorentino	401	8	5,5
4	1898 03 04 21 05	Parmense	313	7-8	5,37
6	1909 01 13 00 45	Emilia Romagna orientale	867	6-7	5,36
5	1914 10 27 09 22	Lucchesia	660	7	5,63
5	1916 05 17 12 50	Riminese	132	8	5,82
5	1916 08 16 07 06 14.00	Riminese	257	8	5,82
4-5	1918 11 10 15 12 28.00	Appennino forlivese	187	9	5,96
4-5	1919 06 29 15 06 13.00	Mugello	565	10	6,38
5	1920 09 07 05 55 40.00	Garfagnana	750	10	6,53
6	1929 04 10 05 44	Bolognese	87	6	5,05
4	1929 04 11 00 56	Bolognese	10	4	4,72
4	1929 04 12 00 32	Bolognese	7	4	4,82
5-6	1929 04 19 04 16	Bolognese	82	6-7	5,13
4	1929 04 19 22 40	Bolognese	12	5-6	4,54
5	1929 04 20 01 10	Bolognese	109	7	5,36
5	1929 04 22 08 26	Bolognese	41	6-7	5,1
5	1929 04 22 14 19	Bolognese	12	5-6	4,61
5	1929 04 28 19 40	Bolognese	20	6	4,73
5	1929 04 29 18 36	Bolognese	45	6	5,2
4	1929 05 01 21 13	Imolese	3	4	4,57
5	1929 05 11 19 23	Bolognese	64	6-7	5,29
4	1930 10 24 00 52	Appennino tosco-emiliano	12	4	3,97
4	1930 10 26 07 14	Appennino tosco-emiliano	14	4	4,21
4	1967 12 30 04 19	Emilia Romagna orientale	40	6	5,05
4	1971 07 15 01 33 23.00	Parmense	228	8	5,51
4-5	1976 05 06 20	Friuli	770	9-10	6,45
4-5	1976 09 15 09 21 19.01	Friuli	54	8-9	5,95
4	1978 12 05 15 39 04.00	Romagna	34	4-5	4,61
4	1983 11 09 16 29 52.00	Parmense	850	6-7	5,04
4	1987 05 02 20 43 53.32	Reggiano	802	6	4,71
4	1989 09 13 21 54 01.50	Prealpi Vicentine	779	6-7	4,85
4-5	1996 10 15 09 55 59.95	Pianura emiliana	135	7	5,38
4	1999 07 07 17 16 12.59	Friulano	32	5	4,67
5	2003 09 14 21 42 53.18	Appennino bolognese	133	6	5,24
4	2008 12 23 15 24 21.77	Parmense	291	6-7	5,36

Tabella 2.1 (segue). Terremoti significativi per Bologna con macrointensità stimata ≥ 4 (fonte: INGV – Database Macrosismico Italiano 2015)

Si possono tuttavia citare ulteriori informazioni, e in particolare il terremoto più forte e più prossimo all'area in esame, secondo quanto riportato nel CFTI5Med (Guidoboni et al., 2018), risulta essere quello del 3 gennaio 1505, il secondo di una sequenza con 3 scosse principali, con intensità epicentrale valutata del grado VIII della scala MCS e magnitudo equivalente pari a 5.6 e con effetti nel bolognese compresi tra i gradi VII e VIII della scala MCS. Per la sequenza sismica del 1504-1505, il catalogo CFTI5Med (Guidoboni et al., 2018) riporta la seguente sintesi degli effetti principali:

“Questa sequenza sismica cominciò il 31 dicembre 1504 e si protrasse per quasi cinque mesi, fino a oltre la metà di maggio 1505. Interessò soprattutto Bologna e la vicina area pedeappenninica dove i danni furono rilevanti.

Le scosse più forti furono tre: la prima avvenne il 31 dicembre 1504 alle ore 4:00 GMT circa (le 11 e mezza in orario "all'italiana"). A Bologna la scossa fece cadere numerosi comignoli e causò lesioni nelle volte di vari edifici, fra cui la chiesa di S.Francesco; la chiesa di S.Giacomo subì danni anche alla facciata. A Modena fu molto forte e fece cadere qualche comignolo.

La scossa più forte della sequenza avvenne il 3 gennaio 1505 alle ore 2:00 GMT circa (le 9 e mezza in orario "all'italiana"). A Bologna ci furono gravi danni alle abitazioni e agli edifici pubblici, civili e religiosi. Le case crollate totalmente furono poche, ma molte abitazioni subirono danni diffusi. La parte dell'area urbana più colpita fu quella verso la pianura, compresa tra porta S.Donato e porta S.Isaia. Risultarono danneggiati soprattutto gli edifici "a volta" (come le chiese e i palazzi), e la parte più alta di numerose torri, tanto che alcune dovettero essere abbattute o abbassate per evitarne il crollo sugli edifici vicini. Nel palazzo Bentivoglio, uno dei più danneggiati, crollarono la facciata, la sala grande, cinque volte del portico e il "torresino" della vicina torre collegata al palazzo; varie stanze risultarono inoltre lesionate e tutto l'edificio sconnesso e indebolito. Più in ombra, dal punto di vista degli effetti, rimane l'area extraurbana, a cui le fonti dedicano scarsa attenzione: a Confortino, Bentivoglio e Rigosa subirono gravi danni gli edifici di proprietà della famiglia Bentivoglio; a San Lorenzo in Collina e Zola Predosa il terremoto causò lesioni nelle case e il crollo di colombaie. Ci furono danni leggeri a Ferrara, Modena, Reggio nell'Emilia. La scossa fu sentita a Firenze, Forlì, Venezia, Verona, Vicenza, e in molte altre località.

Un'altra scossa molto forte avvenne il 20 gennaio, alle ore 23:50 GMT circa (le 7 della notte in orario "all'italiana"). A Bologna si aggravarono i danni alle volte di alcuni edifici, fra cui la cattedrale di S.Pietro, le chiese di S.Petronio e S.Martino, la torre del palazzo del Podestà e l'ospedale di S.Maria della Vita. Questa scossa fu sentita in un'area estesa da Forlì e Faenza, a Venezia e Verona.”

In generale, per uno studio approfondito degli effetti degli eventi sismici nel territorio bolognese è opportuno riferirsi al volume I terremoti a Bologna e nel suo territorio dal XII al XX secolo (Boschi e Guidoboni, 2003), dal cui studio sono stati in seguito sintetizzati i dati del CFT15Med.

Oltre al già citato evento del gennaio 1505, altri due terremoti hanno prodotto effetti pari al grado VIII della scala MCS in area Bolognese e sono la scossa del 6 febbraio 1455 (localizzata in modo assai incerto nella Media Valle del Reno, all'altezza di Marzabotto) e quella del 20 aprile 1929, localizzata tra i comuni di Monteveglio e Monte San Pietro, una decina di chilometri a sud-ovest del comune di Calderara di Reno.

Viene di seguito riportato un estratto della sintesi degli effetti principali proposta dal catalogo CFT15Med per la sequenza sismica del 1929:

“La sequenza sismica del 1929, caratterizzata da quasi 100 scosse, cominciò il 10 aprile 1929 e si protrasse fino all'ottobre successivo. Gli eventi di maggiore intensità furono sei e avvennero nell'intervallo di un mese: il 10 aprile (ore 5:43:12 GMT), il 19 aprile (4:15:22 GMT), il 20 aprile (1:09:46 GMT), il 22 aprile (8:25:33 GMT), il 29 aprile (18:35:59 GMT) e l'11 maggio (19:22:48 GMT). [...] La terza scossa, avvenuta il 20 aprile, fu la più forte di tutta la sequenza: causò danni in oltre 600 siti su un'area di 680 kmq del pedeappennino fra i fiumi Reno e Samoggia e fu sentita in tutta l'Italia centrosettentrionale fino alla Toscana e alle Marche, su un'area di circa 150.000 kmq. I danni maggiori, consistenti in crolli parziali e gravi dissesti strutturali, colpirono alcune località dei comuni di Monte San Pietro e Zola Predosa. Negli

altri siti le tipologie di danno più diffuse furono: strapiombi di muri, lesioni più o meno gravi ai muri e agli architravi di porte e finestre, dissesti ai tetti e ai pavimenti, caduta di comignoli. [...]”

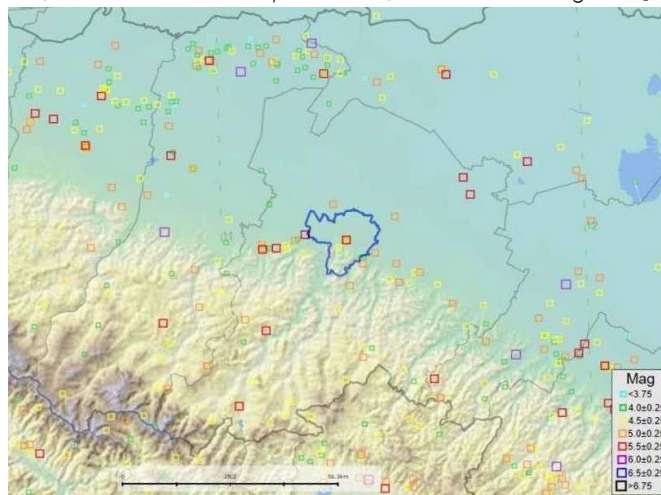


Figura 2.2. Localizzazione degli epicentri degli eventi sismici riportati nell'archivio CPTI15 v.2.0

Gli eventi sismici emiliani del maggio 2012

Dal 20 maggio 2012 una vasta porzione della Pianura Padana²³ è stata interessata da una sequenza sismica, con una prima forte scossa (di magnitudo locale $ML=5.9$), registrata alle ore 4:03 locali e con epicentro tra Mirandola (MO) e Finale Emilia (MO). A tale sisma sono seguite dopo pochi minuti altre due scosse importanti, la prima di $ML=4.8$ e la seconda di $ML=5.1$, con epicentro nel territorio comunale di Bondeno (FE). Successivamente, tra il 20 maggio e il 3 giugno 2012, si sono state registrate altre 5 forti scosse ($ML > 5$), con epicentri distribuiti tra Novi di Modena (MO) e Vigarano Mainarda (FE). Tra queste, la più forte e disastrosa ($ML=5.8$) è avvenuta il 29 maggio 2012 con epicentro tra Mirandola (MO) e Medolla (MO).

²³

Compresa tra le Province di Reggio Emilia, Modena, Mantova, Bologna e Ferrara.

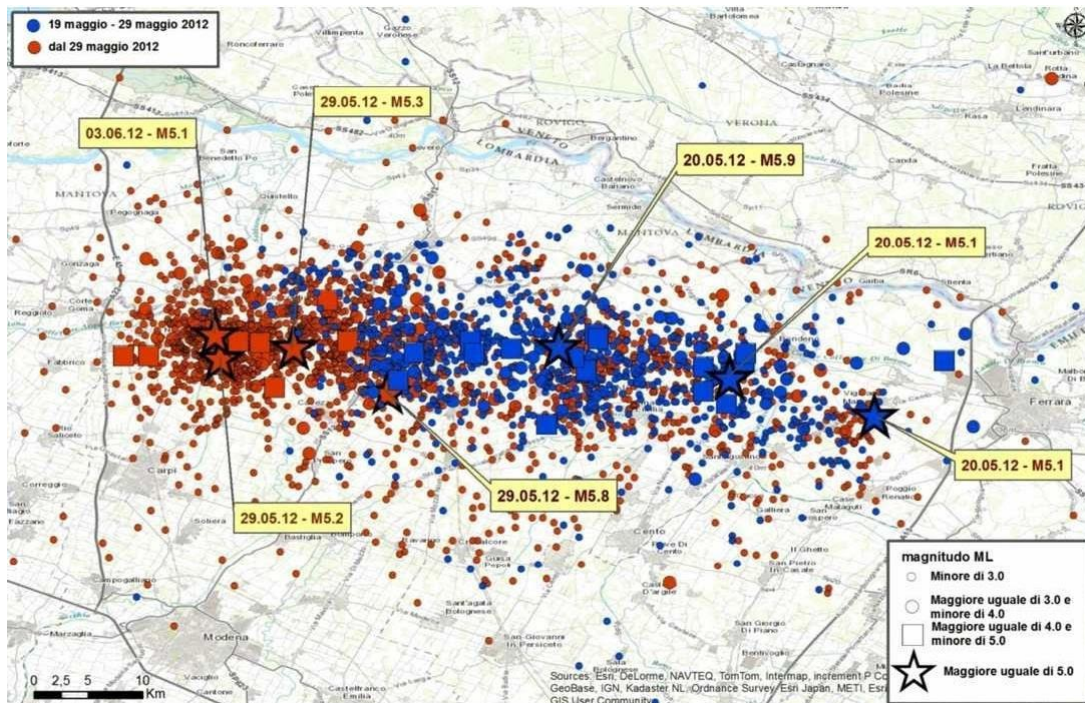


Figura 2.2. Localizzazione degli epicentri della sequenza sismica emiliana iniziata il 19 maggio 2012 (fonte: INGV <http://terremoti.ingv.it/it/ultimi-eventi/842-terremoti-in-pianura-padana-emiliana.html>)

I maggiori effetti locali riscontrati sono risultati amplificazione del moto sismico e fenomeni di liquefazione, questi ultimi diffusi soprattutto in corrispondenza di rami abbandonati dei fiumi appenninici (Reno, Panaro e Secchia) e, subordinatamente, del Po²⁴. In termini di amplificazione, si sono invece registrate massime accelerazioni orizzontali al sito (Pga) che hanno superato 0,2g e in alcune aree anche 0,3g. La figura 2.2 localizza gli epicentri della citata sequenza emiliana.

Il DBMI15 (Locati et al., 2016) non attribuisce nessun valore di intensità per il Comune di Bologna riferibile al sisma emiliano 2012, in quanto i rapporti dei rilievi macrosismici eseguiti (Galli et al., 2012a e 2012b) citano solo i Comuni più settentrionali per quanto riguarda la Provincia di Bologna (ora Città Metropolitana di Bologna).

Sorgenti sismogeniche e mappa pericolosità sismica INGV

Secondo la Zonazione sismogenetica del Territorio Italiano - ZS9, prodotta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) nel 2004 (Meletti e Valensise, 2004), che rappresenta il riferimento per le valutazioni di pericolosità sismica nel territorio nazionale, l'area in esame ricade nella Zona 912, caratterizzata da un valore di M_{wmax} pari a 6.14. La zona sismogenica 912 rappresenta la porzione più avanzata e sepolta della fascia in compressione dell'arco appenninico settentrionale che si spinge fino al Po ed è caratterizzata prevalentemente da meccanismi di fagliazione inversa (Meletti & Valensise, 2004).

²⁴ Fonte: "Microzonazione sismica e analisi della CLE delle aree epicentrali dei terremoti della Pianura Emiliana di maggio-giugno 2012" - Relazione Illustrativa a cura di L. Martelli e M. Romani e "Rilievo macrosismico MCS speditivo - Rapporto Finale" a cura di P. Galli, S. Castenetto e E. Peronace.

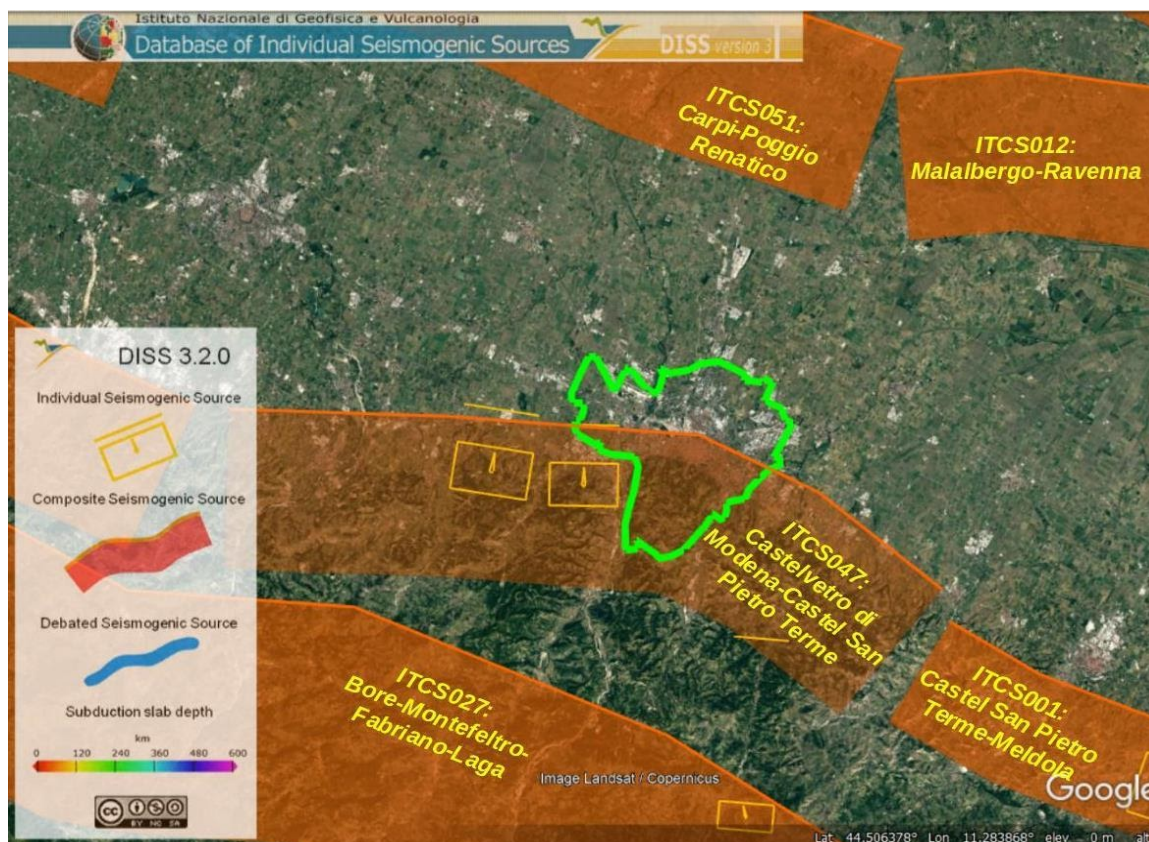


Figura 2.3. Localizzazione delle sorgenti sismogenetiche contenute nel database DISS (v.3.2). Foto aerea: Google Earth

Il database DISS v. 3.2.1 (DISS Working Group, 2018) evidenzia come tutto il settore meridionale del territorio di Bologna risulti incluso nella sorgente sismogenica composta indicata con la sigla “ITCS047 Castelvetro di Modena-Castel San Pietro Terme” (figura 2.3). All'interno di questa sorgente sismogenica si concentrano i maggiori eventi sismici accaduti dell'area bolognese. Si tratta di una porzione del fronte compressivo pedeappenninico, caratterizzato da un sistema di faglie con prevalente vergenza nordest, a cui è associata una magnitudo massima pari a 6,0. La profondità è indicata tra 2 e 8 km, mentre lo slip-rate è compreso tra circa 0.2 e 0.6 mm/anno.

Il database DISS v. 3.2 riporta anche due sorgenti sismogenetiche individuali, ITIS091 “Casalecchio di Reno” e ITIS103 “Crespellano”. Alla più vicina sorgente ITIS091 è attribuita una $M_w = 5,5$ associata al terremoto bolognese del 3 gennaio 1505 (fonte: CPTI, 2016): la zona epicentrale è stata stimata tra Zola Predosa e Bologna e sono documentati danni più consistenti a Zola Predosa, Bologna e S. Lorenzo in Collina (grado IX della scala Mercalli, cfr. Zecchi, 1882) ed i seguenti effetti indotti dal sisma: frane, fratture superficiali (Boschi et al., 2000), effetti di liquefazione a Zola Predosa (Prestininzi e Romeo, 2000).

Alla seconda sorgente ITIS103 è attribuita una magnitudo $M_w = 5,6$ associata al terremoto del 20 aprile 1929 (fonte: CPTI, 2016): a seguito di tale evento sismico sono documentati danni ad edifici ed infrastrutture con intensità pari al grado VII della scala Mercalli (Zecchi, 1982) ed anche effetti indotti dal sisma: frane, fratture superficiali, emissioni di gas (Boschi et al., 2000).

Le più importanti questioni aperte citate nel database DISS, a cui è difficile dare una risposta allo stato attuale delle conoscenze, riguardano i tempi di ritorno dei terremoti associati alle sorgenti individuali e la magnitudo massima associabile all'area sottesa dalla sorgente composta.

Il territorio del comune di Bologna può anche risentire degli eventi sismici localizzabili nelle sorgenti sismogenetiche composte più settentrionali ITCS051 “Carpi – Poggio Renatico” e ITCS012

“Malalbergo-Ravenna” alle quali vengono attribuite magnitudo massime $M_w = 6,0$. La sorgente ITCS051 include la faglia “Mirandola” recentemente riattivata (terremoti emiliani 2012). Il territorio comunale bolognese può inoltre risentire degli eventi sismici localizzabili più a sud nella zona sismogenica composita “ITCS027: Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga”, che comprende un'ampia fascia di territorio appenninico fino al Marchigiano. Questa zona è caratterizzata da sismicità legata a meccanismi tettonici di compressione nella catena appenninica con terremoti caratterizzati da profondità ipocentrali generalmente comprese tra 12 km e 22 km. La magnitudo massima stimata di questa zona è pari a $M_w = 6,2$ desunta dall'analisi dei terremoti storici più significativi associati a questa ampia zona, tuttavia con epicentri piuttosto lontani dall'area studiata (Fabriano, 1741, Cagli, 1781, Camerino, 1799, Sarnano, 1873). La sorgente sismogenica individuale più vicina (distante circa 35 km dal Capoluogo) risulta la “ITIS058 “Loiano”, recentemente definita in seguito all'evento sismico del settembre 2003 ($M_w = 5,3$).

Ulteriori elementi di riferimento per la pianificazione territoriale

Gli indirizzi regionali per gli studi di microzonazione sismica (DAL 112/2007 e DGR 2193/2015 e DGR 630/2019)

La Regione Emilia-Romagna ha elaborato e approvato (con Delibera dell'Assemblea Legislativa n.112 del maggio 2007) gli <<Indirizzi per gli studi di Microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica>>, in coerenza con la LR n.20/2000 <<Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio>>. Questi indirizzi regionali per la microzonazione sismica, sono stati elaborati sulla scorta degli esiti delle indagini sismiche che la Regione Emilia-Romagna ha effettuato nel territorio regionale negli ultimi 40 anni circa, assumendo come riferimento la “pericolosità di base” elaborata da INGV e recepita a livello nazionale con l'OPCM 3519/2006.

Con le più recenti DGR 2193/2015 e DGR 630/2019, la Regione Emilia-Romagna ha introdotto ulteriori aggiornamenti agli indirizzi riportati nella DAL 114/2007. Questa parziale revisione prende quale riferimento anche le vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC), le ulteriori esperienze scientifiche seguite ai recenti eventi sismici italiani (L'Aquila 2009; pianura emiliana del 2012) e, infine le esperienze di applicazione della DAL 112/2007. In sintesi, le principali novità contenute nella la DGR 2193/2015 e nella DGR 630/2019 consistono:

- nelle rimodulazioni degli abachi di microzonazione sismica da considerarsi per le analisi semplificate (“livello 2”);
- nella definizione di ulteriori parametri di amplificazione riferiti all'intensità spettrale di Housner (per l'intervallo di periodo T 0,5-1,5 s) e riferiti all'intensità spettrale in accelerazione (per i seguenti intervalli di periodo: 0,1-0,5 s, 0,4-0,8 s, 0,7-1,1 s, 0,5-1,5 s)
- nella richiesta di produrre cartografie delle frequenze naturali dei terreni a scala territoriale e a supporto del “primo livello” di approfondimento;
- nella richiesta di produrre una carta della distribuzione sul territorio dei valori di “Hazard” HSM (Naso et al., 2019)

Gli indirizzi RER forniscono gli elementi essenziali per espletare gli studi di pericolosità sismica secondo i tre “livelli” di approfondimento e forniscono inoltre tabelle e formule propedeutiche alla valutazione semplificata dell'amplificazione locale (microzonazione sismica di “secondo livello”).

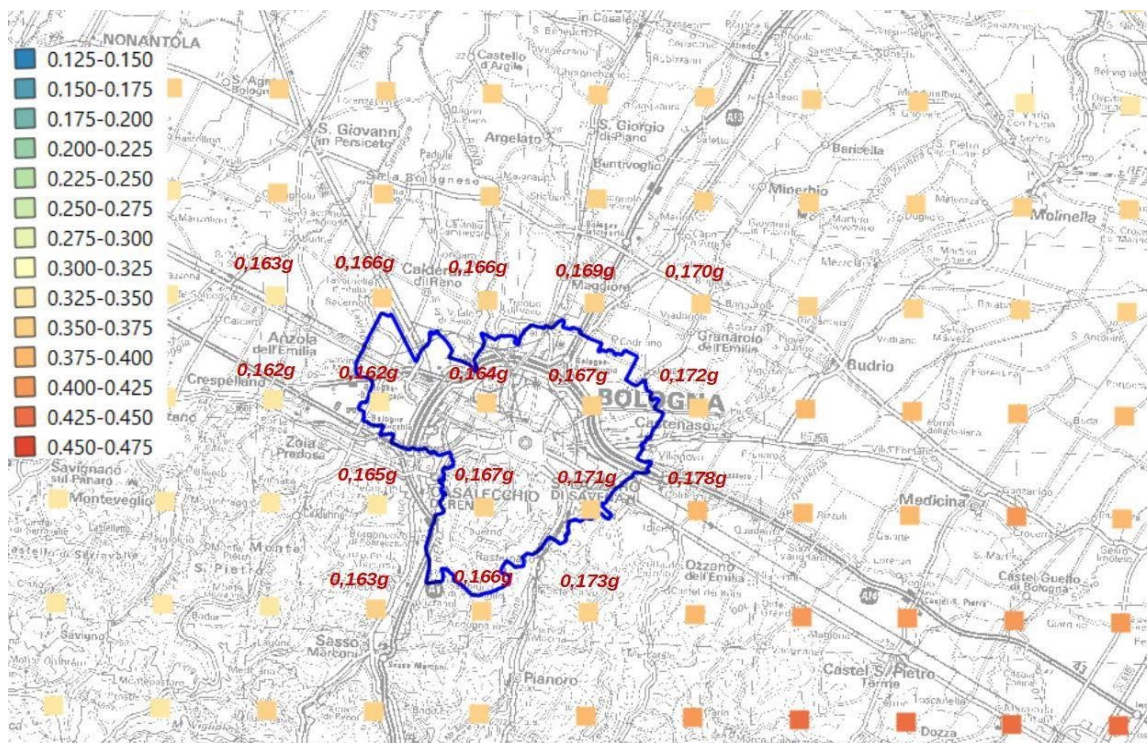


Figura 2.4. Reticolo INGV di pericolosità sismica. La figura riporta i punti della griglia interni o limitrofi al territorio comunale di Bologna

Per quanto riguarda la ag al sito di riferimento (agref), la figura 2.4 riporta per il territorio comunale di Bologna i punti della griglia INGV e i relativi valori di arefg (mappa MPS04). Ai punti vengono attribuiti i parametri della pericolosità sismica di base e in particolare si attribuiscono il valore dell'accelerazione massima attesa su suolo rigido, con una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni. La griglia di punti è costruita per tutto il territorio nazionale (densità di 20 punti per grado, circa un punto ogni 5 km) e la mappa MPS04 è diventata ufficialmente la mappa di riferimento per il territorio nazionale a seguito dell'Ordinanza PCM 3519/2006 (G.U. n.105 dell'11 maggio 2006).

Si evince che per il territorio urbanizzato/urbanizzabile, i valori di arefg (per terremoti con TR =475 anni) sono compresi tra circa 0,176g e 0,162g, con una variabilità relativamente modesta della pericolosità “di base”, in diminuzione da SE a NO.

Il rischio sismico definito nel PTCP della Provincia di Bologna

La Provincia di Bologna (ora Città Metropolitana di Bologna) ha provveduto all'elaborazione di studi di pericolosità sismica preliminare dell'intero territorio amministrativo, ai sensi della DAL regionale n.112/2007. Gli esiti di tali studi sono contenuti nella <<Variante al PTCP in materia di Rischio Sismico>> approvata con Delibera del Consiglio Provinciale del n°57 del 28/10/2013.

In sintesi, la Provincia di Bologna ha elaborato la nuova Tavola di Piano, denominata “TAV. 2.C – Rischio sismico – Carta degli effetti Locali Attesi”, con restituzione cartografica alla scala di 1:65.000 per il territorio di pianura oppure alla 1:25.000 per il territorio di collina/montagna.

La Tavola 2C costituisce il primo livello di approfondimento sismico richiesto dalla DAL 112/2007, identificando gli scenari di pericolosità sismica locale dell'intero territorio provinciale. La cartografia ha definito una prima delimitazione delle aree omogenee dal punto di vista degli effetti locali attesi in caso di sisma; per tali zone, indica le indagini e le analisi di approfondimento che dovranno essere effettuate nelle successive fasi di pianificazione e, inoltre, le indicazioni normative sugli interventi ammissibili nelle aree caratterizzate da pericolo sismico elevato.

In questo senso, le disposizioni normative della Variante non appaiono di carattere escludente (eccetto per le zone di frana “attiva”) in termini di previsione di nuovi interventi, ma impongono l'esecuzione di ulteriori approfondimenti delle indagini e degli studi geologici in funzione della pericolosità sismica riscontrata nella Tavola 2C. La citata Tavola fornisce, in sostanza, le prime indicazioni sui limiti e sulle condizioni per orientare le scelte di pianificazione alla scala comunale verso ambiti meno esposti alla pericolosità sismica. La normativa sismica del PTCP indica anche gli approfondimenti sismici richiesti nelle aree instabili dal punto di vista sismico, fino al “terzo livello” conoscitivo, da espletarsi nelle successive fasi di pianificazione comunale, per confermare o meno le condizioni di pericolosità preliminare e, dunque, le condizioni di fattibilità delle previsioni di trasformazione urbanistica.

Assetto geologico, geomorfologico e idrogeologico dell'area

Inquadramento geologico regionale

L'assetto geologico strutturale del territorio studiato di Bologna è quello di zona di passaggio da “margine” appenninico-padano a pianura. Si rammenta che il margine appenninico rappresenta la zona fraposta tra “catena” e pianura, caratterizzata da rilievi collinari del basso Appennino e dalla fascia pedemontana della Pianura Padana.

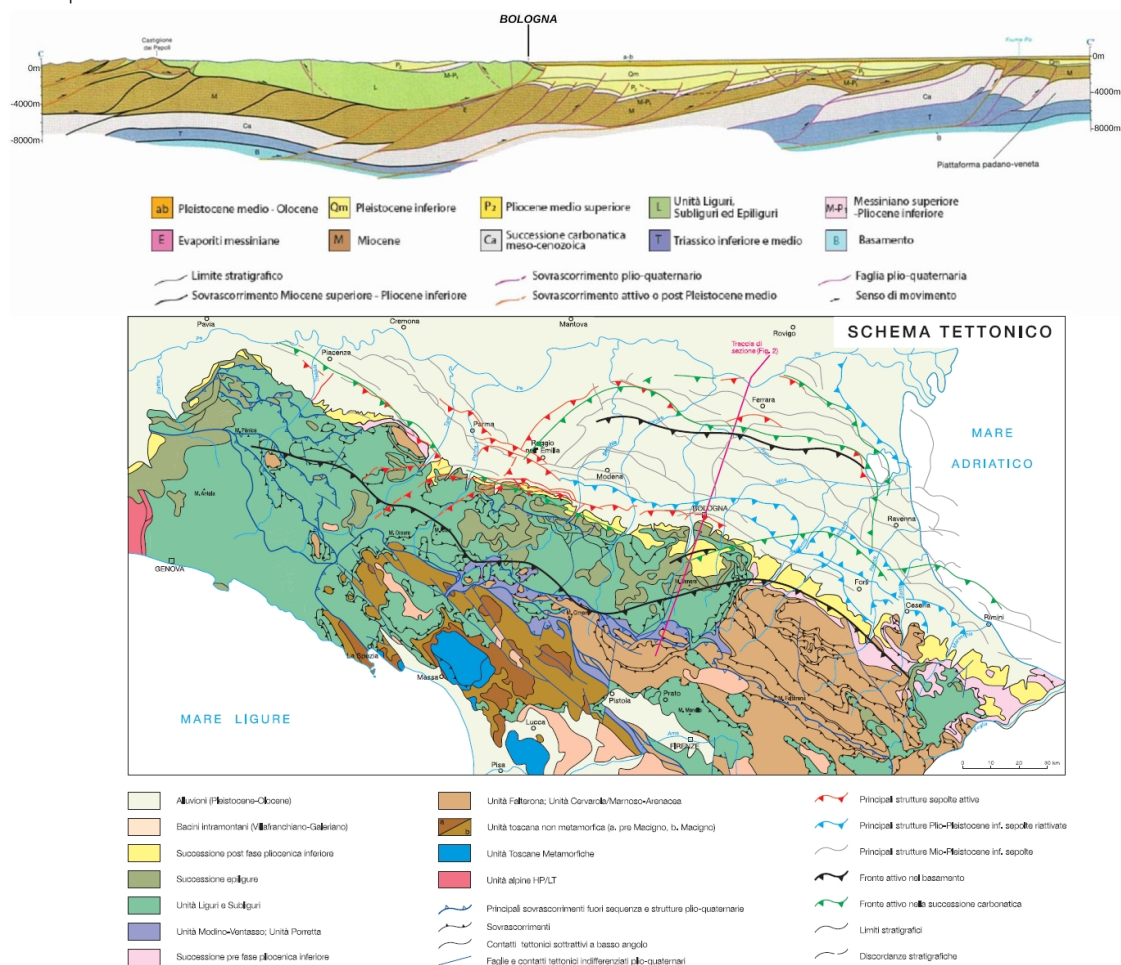


Figura 3.1. Schema tettonico del territorio emiliano-romagnolo, tratto dalle "Note Illustrative alla Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna" (ed. 2004)

La catena appenninica, in sintesi, è costituita da varie unità tettoniche alloctone, ovvero originate in zone paleogeografiche diverse, sradicate e impilate una sull'altra da sud verso nord, a seguito dell'orogenesi che, a partire dall'Oligocene (circa 30 milioni di anni fa), ha portato alla strutturazione dell'Appennino settentrionale.

L'evoluzione del settore di margine appenninico-padano è più in particolare legata all'attività del sistema di faglie del fronte pedeappenninico (Pedeappenninic Thrust Front, PTF, di Boccaletti et al., 1985). Tale fronte è dunque individuabile negli archi esterni delle Pieghe Emiliane e Ferraresi (M. Pieri & G. Groppi, 1981). In figura 3.1 è rappresentato il quadro geologico strutturale locale che identifica i rapporti tra catena e pianura nel territorio studiato, basato anche sui dati e sulle ricostruzioni effettuate dall'AGIP (M. Pieri e G. Groppi, 1981). Questa figura, pubblicata nelle Note Illustrative della Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna (2004), riporta una sezione geologica di sintesi, ricostruita da Castiglione dei Pepoli, passando per Bologna, fino al fiume Po.

La figura 3.2 presenta un ulteriore e più aggiornato schema tettonico del territorio emiliano-romagnolo tratto dalle Note Illustrative della Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna e aree limitrofe (edizione 2016). La figura 3.2 conferma come le strutture appenniniche proseguano ben oltre il limite dell'appennino affiorante, proseguendo nella pianura, sepolte dai sedimenti quaternari padani.



Figura 3.2. Schema geologico di sintesi del settore collinare: domini geologici del bedrock affiorante

La figura 3.3 rappresenta uno stralcio della Carta Sismotettonica (ed. 2016) nella quale, per il settore di catena e margine appenninico, si riportano i limiti delle unità geologiche affioranti (si rimanda per i maggiori dettagli alle relative Note Illustrative per maggiori dettagli). Il territorio collinare bolognese studiato può essere così descritto:

1. la zona più settentrionale di margine affiorante, è caratterizzata da depositi attribuiti alla successione post-evaporitica del Dominio Padano-Adriatico, costituiti da peliti e arenarie poco cementate del Pliocene inferiore-Pleistocene (unità affioranti IMO, FAA), immergenti sotto i sedimenti alluvionali dell'antistante pianura ("monoclinale pedeappenninica" nordvergente). Questo raccordo con la pianura cela, come già scritto, le strutture geologiche sepolte che sono evidenziate nelle precedenti figure 3.1 e 3.2. Le formazioni a tessitura prevalentemente argillosa (FAA) sono facilmente degradabili e possono evolvere in calanchi, ed altre forme di erosione superficiale.

Il sollevamento connesso alla tettonica attiva di "thrust" pedeappenninico ha determinato anche il basculamento/sollevamento delle coperture alluvionali più antiche (tardo Pleistocene) che ricoprono i depositi del substrato marino di margine affiorante;

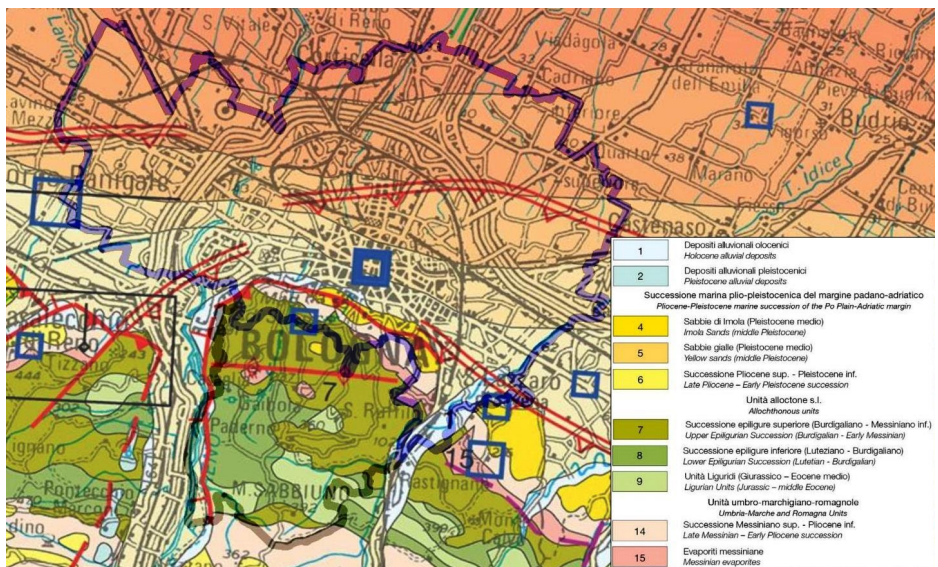


Figura 3.3 – Stralcio della Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna e aree limitrofe (ed. 2016) e della sua legenda (unità geologiche affioranti), con sovrapposti i limiti comunali di Bologna e dell'area studiata.

- 2.
3. una zona contraddistinta dagli affioramenti delle unità evaporitiche messiniane (Formazione Gessoso-Solfifera GES). Questa dorsale gessosa, si sviluppa prevalentemente in direzione SO-NE ed è anche caratterizzata da forme di carsismo. Nell'area di studio, le azioni deformative tettoniche indotte dal sollevamento dei gessi (iniziato in concomitanza con l'avanzamento del fronte appenninico dal Messiniano superiore) e le diverse caratteristiche reologiche delle rocce coinvolte hanno prodotto una serie di dislocazioni. Inoltre, le evaporiti messiniane hanno subito processi di erosione e risedimentazione: in questi casi, alla discordanza basale è associata anche una lacuna erosiva e il substrato della successione post-evaporitica è costituito dalle peliti sommitali della Successione Epiligure (marne della Formazione del Termina - TER – e della Formazione di Cigarello);
4. una grande struttura anticlinale che interessa il territorio studiato più meridionale, anche ben oltre tale limite, mostra in affioramento unità della Successione Epiligure più antiche e fortemente tettonizzate. È localmente caratterizzata da unità geologiche a tessiture da prevalentemente marnose (CIG; TER) a lapidee stratificate (Formazione di Pantano - PAT). Questa zona, nei settori con substrati prevalentemente pelitici, è inoltre caratterizzata da versanti frequentemente instabili e da processi d'erosione (fino a forme calanchive).

Come già scritto, l'evoluzione della pianura è anch'essa condizionata dall'attività dei "thrust" del fronte pedeappenninico e delle strutture padane sepolte descritte da Pieri e Groppi (1981). Mentre la strutturazione dell'Appennino emerso è avvenuta principalmente in età neogenica (Miocene superiore-Pliocene inferiore), la principale attività tettonica del suo margine, ovvero del suo fronte deformato e sepolto, è prevalentemente attribuita al Pliocene medio-superiore e Quaternario.

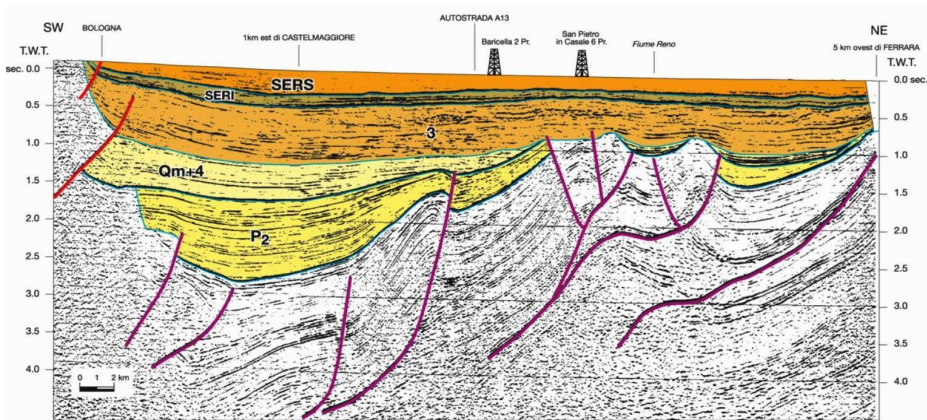


Figura 3.4 – Profilo sismico rappresentativo del territorio di pianura, da Bologna a Ferrara (da: Note Illustrative Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna e aree limitrofe - ed. 2016).

Nella pianura, gli studi geognostici e sismici (RER-ENI, Agip) permettono di ricostruire l'assetto tettonico ed i meccanismi deformativi del margine fronte sepolto. In sintesi, il fronte di sovrascorrimento sepolto è costituito da un sistema di elementi tendenzialmente arcuati, articolati fra loro da un sistema di faglie trasversali ad andamento antiappenninico che rappresentano veri e propri svincoli cinematici a carattere trascorrente e lungo cui si sono avuti anche importanti movimenti verticali (figura 3.4). Le deformazioni del fronte hanno dato luogo alla formazione di bacini (sinclinali) e accavallamenti (“thrust” nord vergenti, associati ad anticlinali) e il risultato finale è quello di un consistente impilamento dei depositi sedimentari plio-pleistocenici, suturati dai depositi continentali di età più recente (Quaternario).

La Pianura Padana è dunque formata dai depositi di riempimento del bacino di avanfossa di età plio-quadernaria che ricoprono le strutture tettoniche sepolte del fronte appenninico. In questo senso, il settore più settentrionale del territorio comunale di Bologna ricade in un contesto che risulta di sinclinale, collocato tra il fronte pedeappenninico emerso (a sud) e la terminazione occidentale delle “Pieghe Romagnole” (più a nord). La sovrastante coltre di riempimento alluvionale è caratterizzata da alternanze di ghiaie, sabbie, limi e argille (in funzione dell'evoluzioni delle facies deposizionali dominanti, di età Pleistocene medio-Olocene e prevalentemente attribuibili ai fiumi Reno, Savena e in minor misura al Lavino, con spessori che rapidamente aumentano verso nord).

La classificazione stratigrafica dei sedimenti alluvionali di riferimento per questo lavoro è quella proposta e utilizzata in Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998), nonché indicata nella Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 e come ulteriormente schematizzato in figura 3.5.

UNITÀ STRATIGRAFICHE	SEQUENZE DEPOSIZIONALI	ETA' (milioni di anni)	SCALA CRONOSTRATIGRAFICA (milioni di anni)	UNITÀ IDROSTRATIGRAFICHE		
SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLICO SUPERIORE	Qc ₂	~ -0.12	PLEISTOCENE SUPERIORE-OLOCENE	A1		
		Qc ₁		~ -0.35-0.45	A2	
				Qm ₃	~ -0.65	A3
					~ -0.8	A4
SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLICO INFERIORE	Qm	~ -1.0	PLEISTOCENE MEDIO	B1		
		P2		~ -2.2	B2	
				~ -3.3-3.6	B3	
				~ -3.9	B4	
				~ -3.9	C1	
GRUPPO DEL SANTERNO	P2	~ -2.2	FLOCCINE MEDIO-SUPERIORE	C2		
		~ -3.3-3.6		C3		
		~ -3.9		C4		
		SABBIE DI IMOLA		~ -0.65	FLOCCINE INFERIORE	C5
				~ -0.8		ACQUITARDIO BASALE

Figura 3.5 – Schema stratigrafico dei depositi plio - quadernari del bacino padano, con indicazione delle principali unità stratigrafiche, sequenze deposizionali e unità idrostratigrafiche (RER & ENI-AGIP, 1998).

Superficie di discontinuità principale (linea rossa)
Superficie di discontinuità minore (linea gialla)

Convenzionalmente, le coperture alluvionali sono riferibili a due principali e successivi cicli deposizionali così denominati convenzionalmente:

- il “Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore” (SERI o AEI), che costituisce lo spessore di alluvioni più profonde e sovrapposte ai depositi marini plio-pleistocenici (di età compresa da circa 0,7 Ma a circa 0,45/0,40 Ma);
- il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (SERS o AES), di età compresa da 0,45/0,40 Ma all'attuale (RER & ENI-Agip, 1998).

Nella Pianura Padana, lo spessore complessivo dei depositi alluvionali è fortemente variabile, in funzione della morfologia delle strutture tettonizzate sepolte: studi RER & ENI-Agip (1998). In questo senso, la Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna (figura 3.3) riporta le isobate riferite al lmm della base del sintema SERS, con spessori complessivi che nel territorio comunale bolognese più settentrionale (es. zona “Corticella”) superano i 250 metri.

All'interno del SERS sono classificate unità di range inferiore (subsintemi) e costituiti da alternanze cicliche di depositi fini (argille e limi, prevalenti nel territorio nord-orientale e nel territorio più occidentale) e depositi prevalentemente sabbiosi o sabbioso ghiaiosi (in corrispondenza degli apparati di conoide dei fiumi Reno, Savena e Lavino).

Ulteriori dettagli sulla stratigrafia del sottosuolo (substrato roccioso e coperture quaternarie) vengono riportati nel paragrafo 3.3 e nel capitolo 5 (modello di sottosuolo).

Ulteriori dati geologici e morfo-strutturali in aree con evidenze di attività tettonica recente

Le “Note Illustrative” prodotte a corredo della carta sismotettonica dell'Emilia-Romagna, nelle due edizioni fin qui pubblicate (2004 e 2016), hanno approfondito su particolari evidenze di attività tettonica recente riscontrate in settori di catena, di margine e di pianura della regione. Rilievi geologici, sismici nonché studi morfo-tettonici indicano come la tettonica attiva sia generalmente caratterizzata dalla presenza di strutture compressive attive, come sovrascorrimenti e piegamenti, come evidenziano anche i meccanismi focali di terremoti noti (Gasparini et alii, 1985; Boccaletti et alii, 1985; Anderson & Jackson, 1987; Frepoli & Amato, 1997; Mariucci et alii, 1999; Benedetti et alii, 2000-2003; Selvaggi et alii, 2001).

Rispetto al territorio in esame, l'andamento geografico del principale spartiacque evidenzia come la catena appenninica risulti dislocata tra le valli del Reno e del Panaro. Vari Autori, hanno descritto strutture tettoniche trasversali all'asse principale, orientate NNE-SSW, che svincolano la catena in questo settore caratterizzato da deformatione attiva prevalentemente lungo il “thrust” appenninico (Ghelardoni, 1965; Bortolotti, 1966; Castellarin et al., 1985; v. anche Martelli, 2015; Martelli et al. 2017; ecc.).

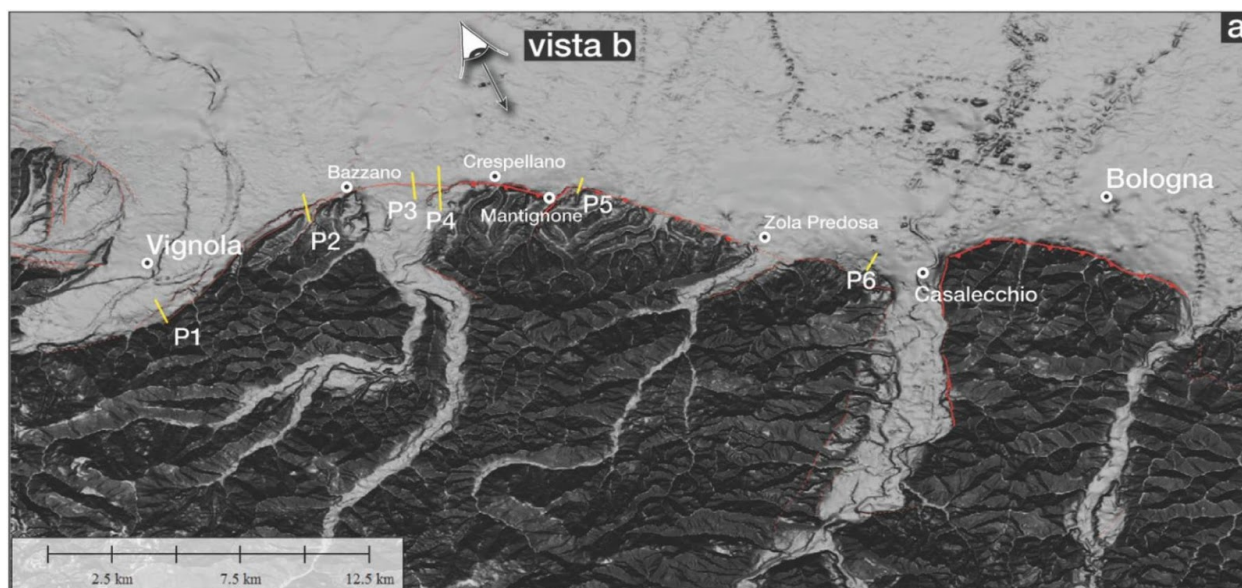


Figura 3.6 – Elaborazione DEM del fronte affiorante del margine appenninico tra Vignola e Bologna (da: Note Illustrative Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna e aree limitrofe – ed. 2016).

Ulteriori evidenze sono riscontrabili lungo il limite morfologico collina-pianura e in particolare si possono individuare alcune strutture trascorrenti minori, con orientazione SW-NE e componente di movimento orizzontale sinistro, che dislocano il fronte del margine affiorante tra le valli dei fiumi Panaro e Reno, come ben rappresentato nella figura 3.6. . Nel settore Casalecchio-Bologna, si riscontra una dislocazione sinistra del fronte di quasi 4 km (Boccaletti et al., 2004), con il limite morfologico collina-pianura, ad est del Reno, che risulta infatti più avanzato verso nord.

Lungo tutto questo tratto di margine, i terreni che costituiscono i versanti collinari sono costituiti da alluvioni del Sistema Emiliano-Romagnolo superiore (SERS <450.000 anni) in discordanza sulle Sabbie di Imola. Questi terreni si collocano a quote chiaramente superiori a quelle di deposizione e risultano interessati anche da piegamenti, fratture e faglie mesoscopiche, come riscontrato in diversi affioramenti nella valle del Panaro, tra Vignola e Bazzano, nelle colline a sud di Crespellano e Zola Predosa e nella periferia nord di Casalecchio di Reno (Ghiselli e Martelli, 1997). Altri riscontri relativi a deformazioni mesoscopiche nelle Sabbie di Imola e nei depositi del SERS sono state rilevate anche a est di Bologna, presso Varignana.

Tutte queste evidenze di deformazioni superficiali (compressive) risultano inoltre coerenti con l'attività del "thrust" pede-appenninico, con direzioni di compressione compresi tra N-S e NW-SE (Martelli et al. 2017). Più in particolare, si è appurata la presenza di un'anticlinale di crescita, parallela al margine pede-appenninico, nelle colline a sud di Bologna caratterizzate da substrato affiorante appartenente alle unità liguri e nei depositi di età compresa tra il Messiniano (Formazione Gessoso-Solfifera) ed il Pleistocene medio (Sabbie di Imola). Questa struttura è caratterizzata da rotture del pendio con una scarpata basale lateralmente continua (figura 3.7). In alcune aree tale scarpata sembra interessare anche depositi olocenici di conoide.

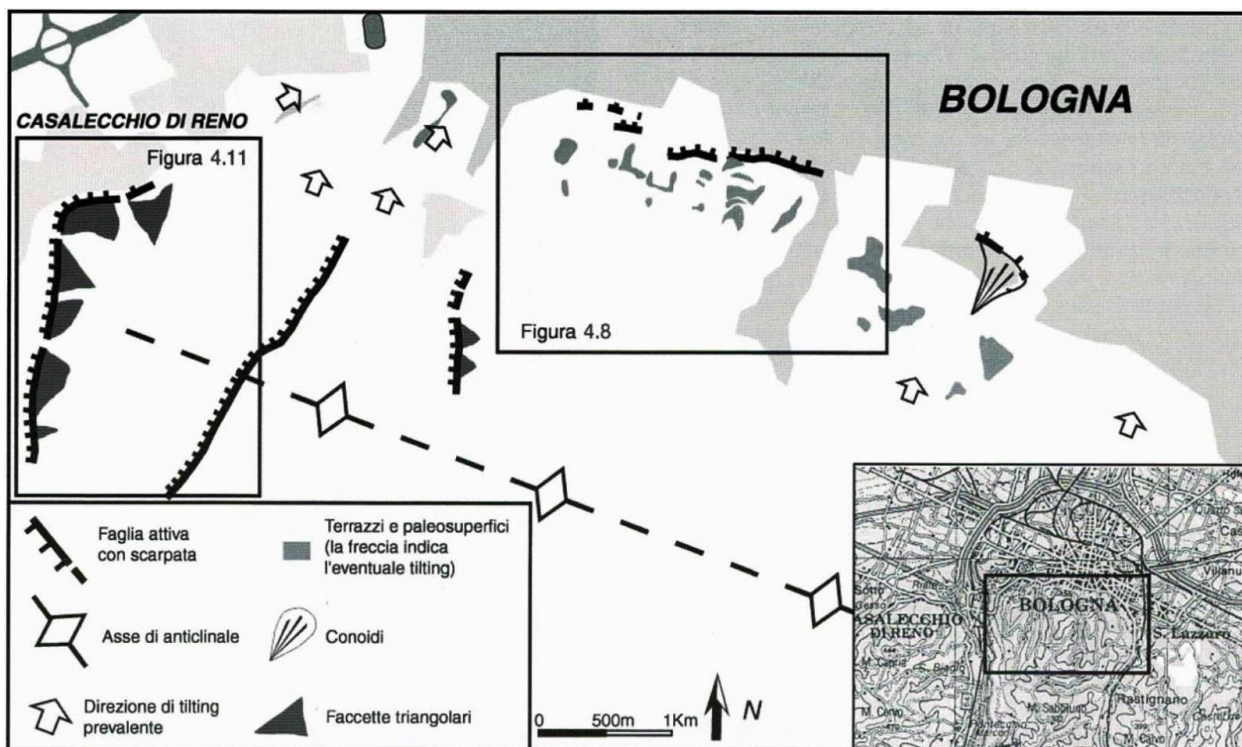


Figura 3.7 – Schema morfo-strutturale del settore collinare a sud di Bologna (da: Note Illustrative Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna – ed. 2004).

Stratigrafia Substrato marino

I dati conoscitivi sono derivati dalla Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000, consultabile anche on line nel sito del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna²⁵. Un ulteriore riferimento per questo lavoro, è rappresentato anche dalla Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (progetto CARG)²⁶.

Come già descritto, il territorio di Bologna interessato dalla microzonazione sismica è costituito da bedrock affioranti appartenenti alla Successione Epiligure, ai depositi evaporitici messiniani e alla successione post-evaporitica del margine padano-adriatico.

La figura 3.8 rappresenta un'ulteriore schema di sintesi delle principali litologie (affioranti o meno).

²⁵ Cartografia interattiva consultabile on line:
https://applicazioni.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss.

²⁶ E Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (Foglio 220 – Casalecchio di Reno)

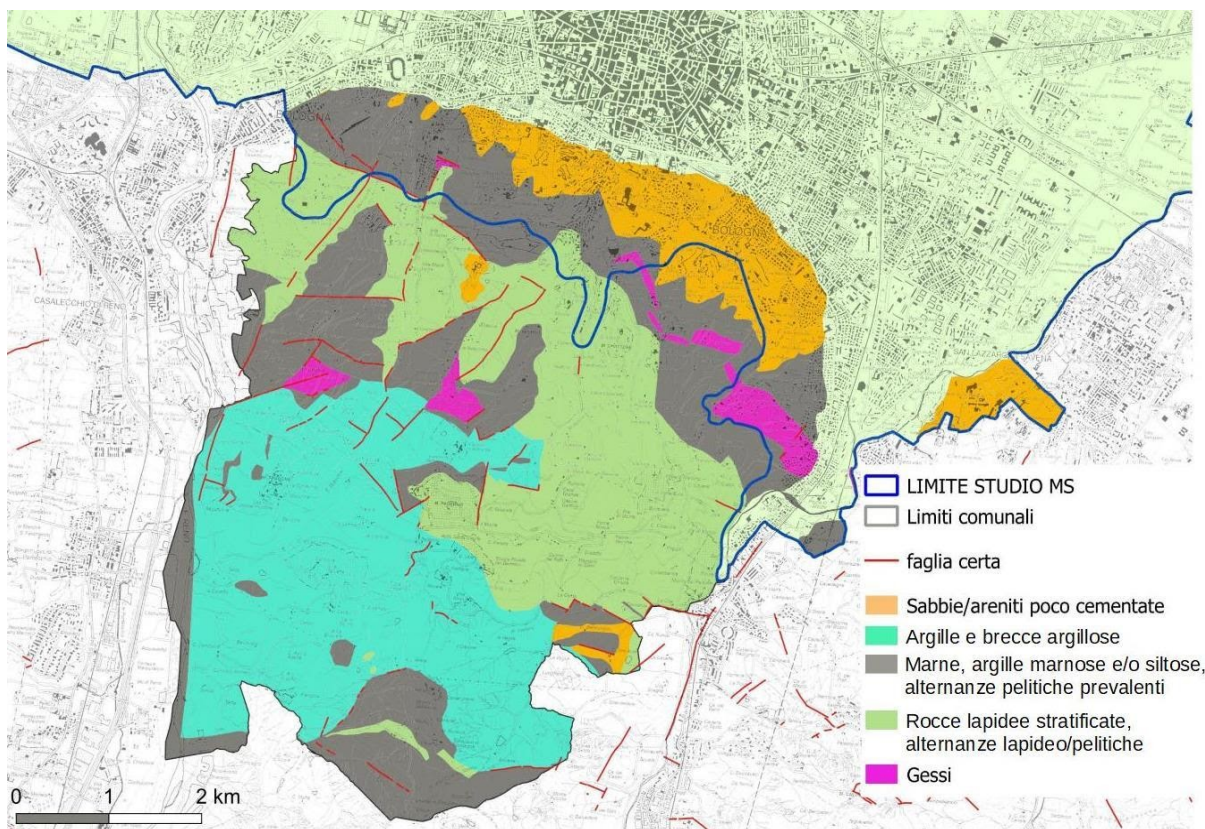


Figura 3.8– Schema geologico di sintesi del settore collinare di Bologna (litologie prevalenti)

Successione post-evaporitica del margine padano-adriatico

Sabbie di Imola (IMO) → questa unità affiora diffusamente al margine appenninico e rappresenta la più recente tra le unità marine dell'appennino. Sono costituite da depositi sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi, di ambiente costiero e subordinatamente da peliti di piana alluvionale e laguna. Le Sabbie Gialle sono state convenzionalmente suddivise in tre sub unità (membri), corrispondenti a differenti cicli deposizionali: nell'area di studio risultano affiorare depositi IMO1 (membro di Monte Castellaccio) corrispondenti a sabbie e ghiaie del ciclo basale trasgressivo, e depositi IMO3 (membro di Castel San Pietro) corrispondenti alle sabbie di tetto del secondo ciclo trasgressivo. Le Sabbie gialle sono attribuibili alla parte terminale del Pleistocene inferiore e Pleistocene medio.

Argille Azzurre (FAA) → si tratta di argille, argille marnose, marne argillose e siltose grigie e grigio-azzurre (con subordinati strati arenacei) di ambiente deposizionale variabile da scarpata a piattaforma (localmente litorale). Nel territorio studiato, il suo limite inferiore è netto, discordante sulle unità più antiche TER, GES e FCO. Età deposizionale: Pliocene inferiore – Pleistocene inferiore.

Evaporiti messiniane

Formazione Gessoso – Solfifera (GES) → depositi di ambiente deposizionale evaporitico/lagunare, costituiti da banchi di gesso selenitico (con cristalli geminati a “coda di rondine”), oppure gessoareniti o gessoruditi, che si alternano ad argille siltose bituminose grigio scure o nerastre e sottili livelli siltitici. Il limite inferiore è netto su TER. Nell'area di studio risultano in affioramento (oppure sovrastati da

depositi quaternari) soprattutto presso Monte e in alcuni ulteriori lembi. In queste unità si sviluppano anche numerose cavità ipogee. Età deposizionale: Messiniano inferiore.

Successione epiligure

Formazione del Termina (TER) → depositi di ambiente deposizionale di scarpata e piattaforma esterna, costituiti da marne argillose, talora siltose grigio scure e localmente bituminose, con rari strati arenacei. Nell'area di studio il limite inferiore è netto su CIG e PAT. Età deposizionale: Tortoniano.

Formazione di Cigarellino (CIG) → depositi di ambiente deposizionale di piattaforma esterna e scarpata, con locali fenomeni torbiditici (frane sottomarine). Sono costituiti da marne siltose – argillose generalmente grigie – beige in strati medi e spessi e con alternati arenarie siltose medio – fini. Il limite inferiore passa gradualmente a PAT. Età deposizionale: Langhiano – Tortoniano (parte basale).

Formazione di Pantano (PAT) → depositi di ambiente deposizionale variabile da litorale e piattaforma esterna. Sono costituiti da areniti siltose fini e finissime grigie – beige, alternate a peliti marnose grigio chiare. Verso l'alto compaiono livelli di marne siltose grigio azzurre.

Coperture quaternarie

I dati conoscitivi di riferimento sono ancora derivati dalla Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000 e dalla Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (progetto CARG). La figura 3.9 offre una rappresentazione di sintesi di questi depositi continentali nel territorio studiato.

Per quanto riguarda i depositi di origine alluvionale, occorre rammentare che le citate cartografie geologiche regionali e nazionali distinguono le coperture alluvionali del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (SERS) secondo la convenzionale classificazione stratigrafica per cicli deposizionali (R.E.R., ENI-AGIP, 1998), ovvero classificati per subsistemi identificati con le sigle “AES5” (più antichi) ad “AES8” (più recenti).

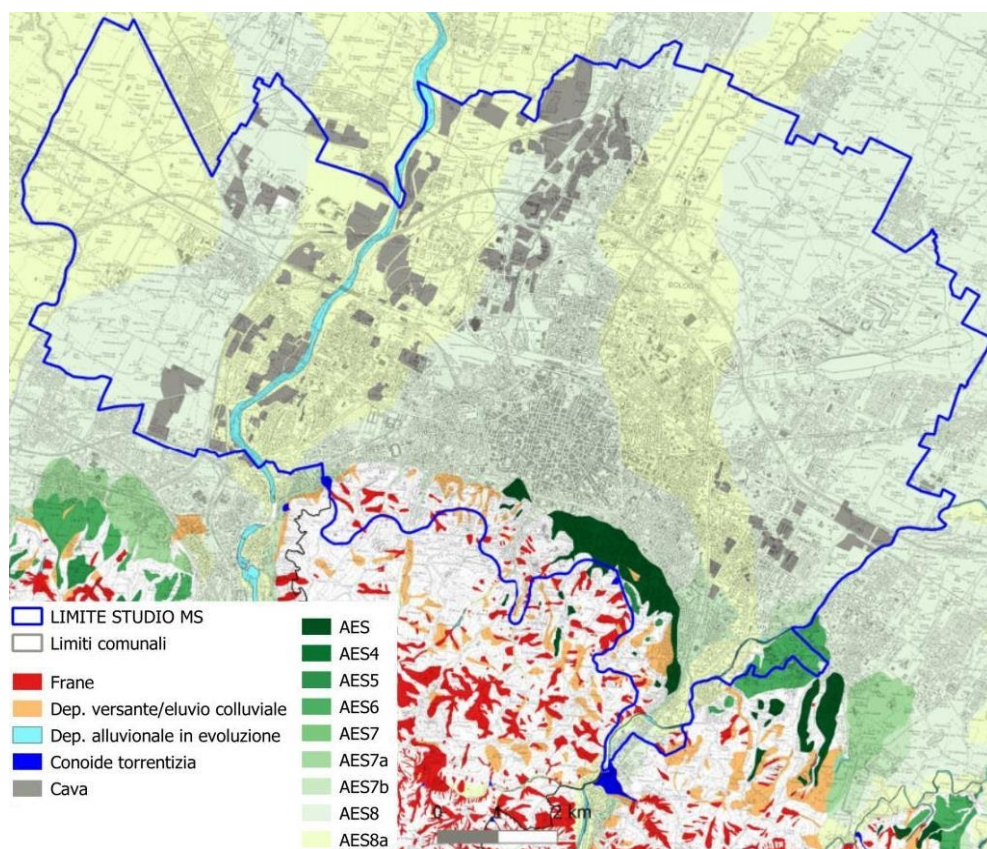


Figura 3.9 - Depositi continentali quaternari nel territorio studiato di Bologna (alluvionali; di versante ed alluvio-colluviali; frane)

Depositi “AES8” (Subsistema di Ravenna) → Si tratta di sedimenti che nei settore intravallivi (es. Aposa, Meloncello, Ravone risultano prevalentemente sabbioso limosi anche argillosi. Nel fondovalle del Savena e negli sbocchi vallivi Reno e ancora Savena, nelle relative piane alluvionali di conoide, i depositi sono caratterizzati da ghiaie (anche sub-affioranti), sabbie, limi e argille. L'età deposizionale è attribuita al Pleistocene sup- Olocene. Si rileva, inoltre, un ordine di terrazzo di rango inferiore, attribuito alla più recente Unità di Modena (sigla AES8a), di età Olocene - Attuale. Questi depositi, risultano morfologicamente distinti dalle alluvioni AES8 da scarpate di erosione fluviale.

Depositi “AES7” (Subsistema di Villa Verrucchio) → si tratta di depositi terrazzati di piana intravalliva affioranti lungo le valli e agli sbocchi vallivi: nell'area di studio sono attribuiti all'unità AES7b (“Unità di Vignola”) le alluvioni terrazzate in sinistra e destra Savena. L'età deposizionale è attribuibile al Pleistocene superiore.

Depositi “AES6” (Subsistema di Bazzano) → è costituita da depositi di conoide alluvionale terrazzati affioranti allo sbocco vallivo del Savena. Si tratta di alluvioni prevalentemente ghiaiose e spesso sormontate da depositi fini (limi argillosi o sabbiosi; sabbie) di modesto spessore nei settori in affioramento (fino a circa 10 metri) e contatto inferiore erosivo con il bedrock marino IMO (Sabbie Gialle). Età deposizionale complessivamente attribuibile al pleistocene superiore.

Depositi “AES5” (Subsistema di Torre Stagni) → depositi alluvionali terrazzati prevalentemente ghiaiosi, passanti a sabbie, e sormontate da limi e argille frequentemente intercalati da suoli. Età deposizionale attribuibile al pleistocene medio.

Depositi “AES” indifferenziati → si tratta di sedimenti interfluviali (depositi di paleo conoide) della porzione basale del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (di età attribuibile al Pleistocene medio), di difficile attribuzione ai subsistemi e prevalentemente caratterizzati da limi sabbiosi e/o sabbie limose. Nell'area di studio risultano affiorare con caratteristiche geometrie cuneiformi (blandamente basculate verso NNE), allo sbocco vallivo del Savena (in sinistra idrografica), fino a comprendere un'ampia porzione di terreni affioranti a ridosso dei primi colli bolognesi.

Depositi “b1” (depositi alluvionali in evoluzione) → Costituiti da ghiaie, talora embriciate, sabbie e limi argillosi di origine fluviale, attualmente soggetti a variazioni dovute alla dinamica fluviale; detrito generalmente incoerente e caotico, costituito da clasti eterometrici ed eterogenei, talora arrotondati, in matrice sabbiosa, allo sbocco di impluvi e valli secondarie e lungo gli alvei “attivi”.

Nel settore di collina sono inoltre distinte le seguenti coperture:

Depositi eluvio-colluviali e di versante → diffusamente riscontrabili al piede dei versanti e formati dal disfacimento per alterazione "in situ" o selezionato dall'azione mista delle acque di ruscellamento e della gravità. La genesi dei depositi di versante può essere inoltre gravitativa, e/o da soliflusso.

Depositi di frana → la cartografia geologica regionale e l'archivio del Comune di Bologna rilevano numerose forme di dissesto di versante. Si tratta di movimenti di frana attivi o quiescenti con meccanismi d'innescio prevalentemente per scivolamento e/o colamento e che dovranno essere oggetto di ulteriori approfondimenti per stabilirne l'effettiva condizione di instabilità in caso di sisma.

Idrogeologia

Il Comune di Bologna dispone di una ricostruzione del campo di modo della falda meno profonda elaborata per lo studio geologico del PSC²⁷ (figura 3.10) basata su rilievi piezometrici effettuali nel 1997-1998. I dati evidenziano due vasti settori di territorio caratterizzati da soggiacenze della falda più significative: la prima in corrispondenza dell'asse fluviale Reno e la seconda corrispondente ad un'ampia porzione di conoide mediana del Savena.

²⁷ Comune di Bologna – Quadro Conoscitivo PSC – Il sistema naturale e ambientale – Relazione Tecnica (a cura del geol. A. Fiori, 2008)

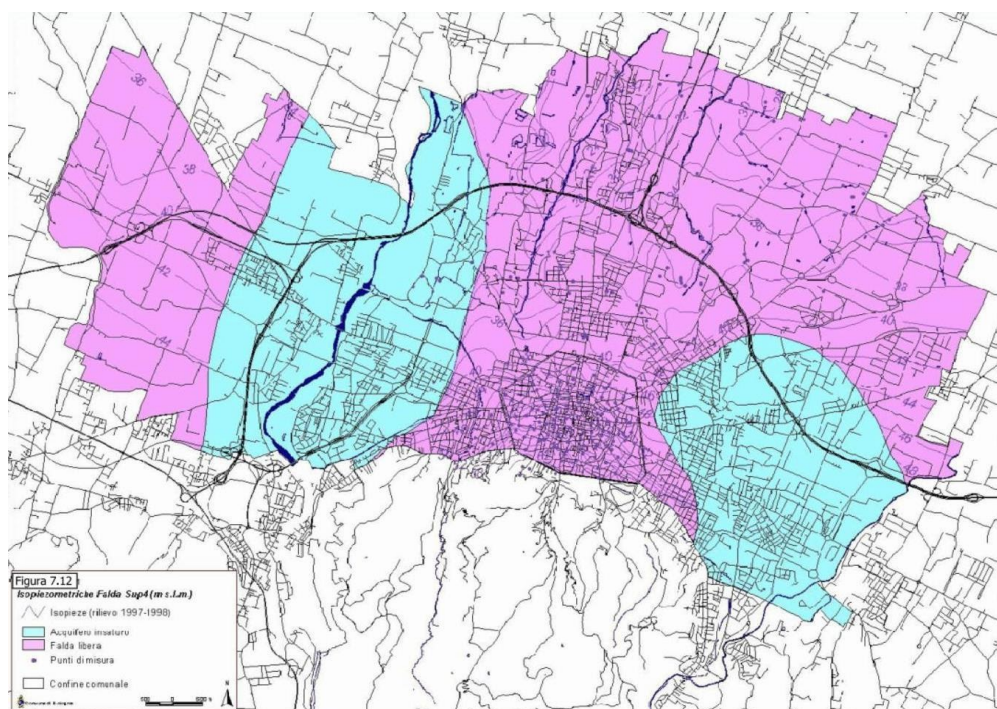


Figura 3.5. Ricostruzione del campo di moto della falda più superficiale (fonte: Quadro Conoscitivo PSC di Bologna, 2008).
 Le zone in fuxia delimitano la falda libera mentre le zone in azzurro delimitano l'acquifero insaturato

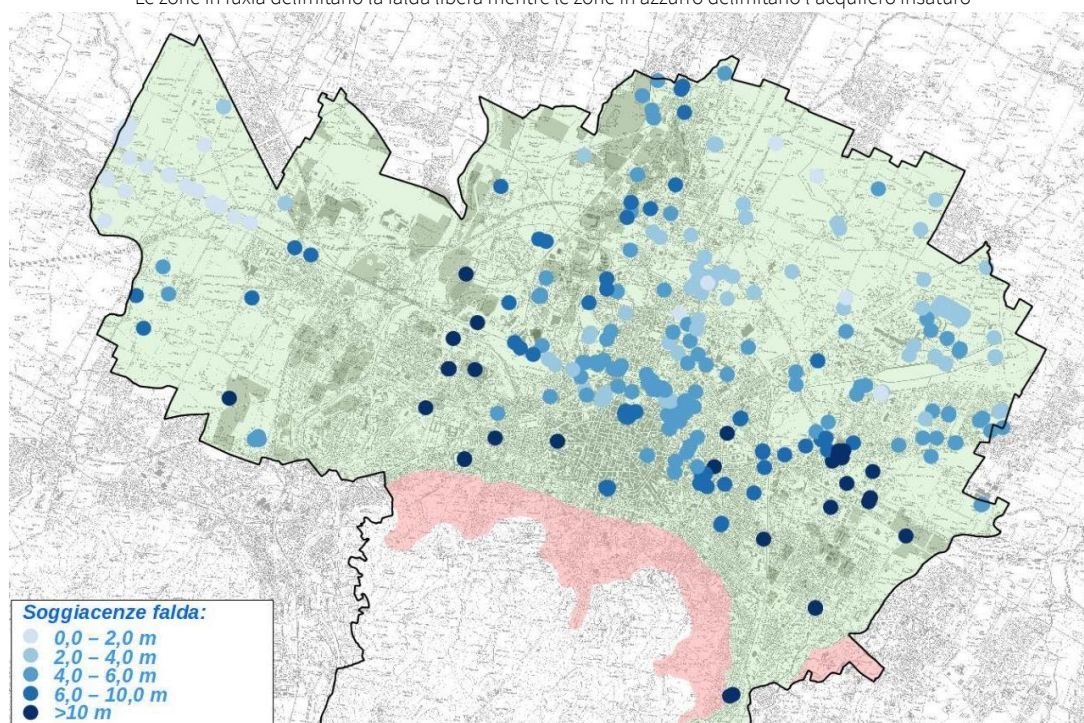


Figura 3.6. Punti di controllo della piezometria (falda più superficiale) considerati per l'analisi della propensione alla liquefazione

Per questo studio, nelle prove geognostiche disponibili (es. penetrometrie CPT, CPTe, CPTU) sono state esaminate anche le quote d'acqua rilevate all'epoca dell'esecuzione e in particolar modo il controllo

ha interessato le terebrazioni più recenti (figura 3.11). Da questo ulteriore, non sono tuttavia emerse significative differenze rispetto ai dati di oltre 20 anni fa.

Si evidenzia la discreta soggiacenza (>4 metri) che interessa tutto il settore meridionale dell'abitato e in particolare le zone "Centro", "Murri", "Saffi", "Barca", "Santa Viola" presumibilmente riconducibile alla scarsità di acquiferi granulari superficiali e all'impossibilità di "ricarica" superficiale indotta dall'elevata impermeabilizzazione dei terreni in questo settore di territorio densamente urbanizzato.

Cenni sulle cavità sepolte antropiche

Come noto, le cavità sepolte possono determinare condizionamenti nella propagazione delle onde sismiche in superficie nei casi di dimensioni e profondità significative. Si è dunque ritenuto pertinente al lavoro svolto effettuare alcune ricerche finalizzate a individuare elementi di potenziale criticità e di natura "antropica", che interessano in particolar modo il territorio urbano (canali tombati; altri manufatti quali parcheggi interrati).

La città storica di Bologna è caratterizzata da un reticolo di canali artificiali medioevali (figura 3.12), in parte tombati, realizzati per il sostentamento idrico e commerciale e collegati ai fiumi naturali Savena, Reno e al torrente Aposa. Si tratta, per lo più di canalizzazioni e tombamenti di modeste sezioni, finalizzate a preservare velocità di deflusso utili per attività quali opifici e altre, ma anche per conservare scoli fognari cittadini efficienti.

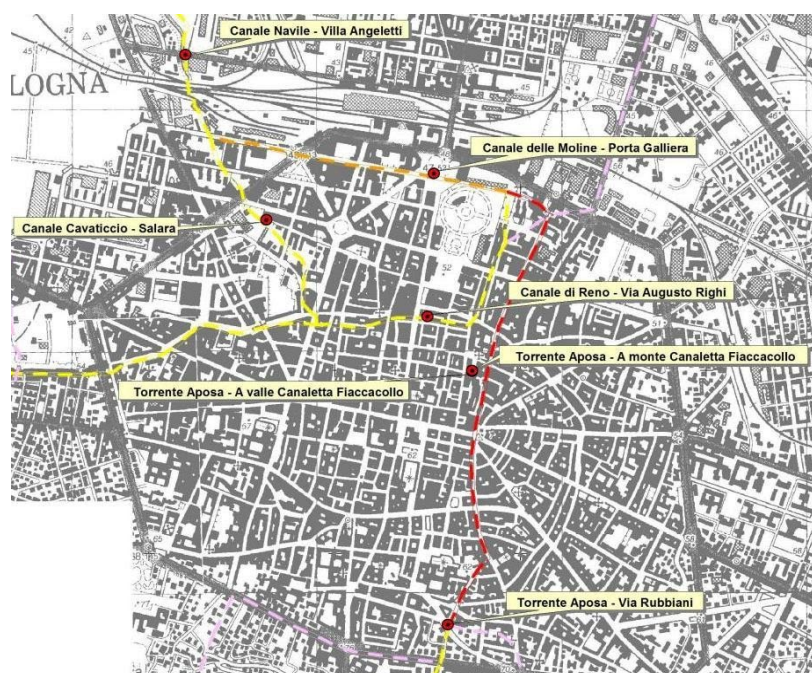


Figura 3.12- Rete dei principali canali della città (fonte: ARPA)

Sono tuttavia individuati alcuni tratti canalizzati di maggiore sezione, con funzioni di navigabilità: canale Navile/canale Cavaticcio e canale Reno.

Il canale Reno prende nome dal fiume di rifornimento, dal quale riceve acqua presso la chiusa di Casalecchio. Dopo un percorso a cielo aperto, questo canale, largo circa 7 metri, diviene tombato presso l'intersezione con via Sacco e Vanzetti per poi proseguire al di sotto delle vie Valdossola, Sabotino, della Grada e poi Riva di Reno. Il canale Cavaticcio si origina dal canale Reno e alimentava il Porto Navile e risulta tombato fino all'intersezione verso nord con la via Bovi Campeggi.

Per questo studio, si è ritenuto utile riportare anche altri manufatti interrati, indicati dall'Amministrazione comunale, quali parcheggi interrati multipiano. Si è ritenuto utile riportare anche alcuni manufatti realizzati per il tratto urbano dell'Alta Velocità e in particolare la stazione e parte del sottoattraversamento in entrata/uscita da essa). La stazione AV di Bologna, infatti, è posta a 23 m sotto la superficie in corrispondenza del piazzale della Stazione Centrale ed è costituita da un “camerone” interrato (640 m di lunghezza, 41 m di larghezza e 23 m di profondità) che si sviluppa su tre livelli.

Gli elementi sopra descritti sono stati riportati nella cartografia MOPS come forme sepolte e in particolare classificate come “aree con cavità sepolte” (figura 3.13), mancando una specifica voce di legenda. A tali aree non si forniscono particolari condizioni di attenzione, tuttavia si vuole evidenziare la presenza di questi elementi quale dato conoscitivo ai fini delle analisi di rischio sismico a supporto di eventuali studi urbanistici e/o di progettazione in areali limitrofi.



Figura 3.13– Delimitazione di alcune delle “aree con cavità sepolte” antropiche presenti nel territorio urbano del Capoluogo (canali Reno e Cavaticcio; Alta Velocità; parcheggi interrati) e riportate nella cartografia MOPS

Dati geotecnici e geofisici

Lo studio ha previsto la raccolta, la selezione e il riordino delle indagini geognostiche/geofisiche e di laboratorio disponibili per il territorio comunale di Bologna. Si è potuto disporre di un notevole numero di prove geognostiche e geofisiche di repertorio (4077 prove complessive) fornite dall'Amministrazione comunale. Si tratta di prove relative a indagini geologiche, archiviate presso l'Ufficio Tecnico comunale e svolte per gli interventi più significativi di progettazione esecutiva (permessi di costruire) o per interventi di pianificazione (es: Variante Generale al Piano Regolatore e Varianti specifiche; Piani Particolareggiati; ecc.).

Le prove disponibili per lo studio di microzonazione, e implementate nel database che costituisce l'archivio delle indagini per questo lavoro, risultano così distinte per tipologia (tabella 4.1):

Tipo identificativo (sigla)	Tipo indagine	n.
SS	Sondaggio a carotaggio continuo che intercetta il substrato	32
S	Sondaggio a carotaggio continuo	1202
SDS	Sondaggio a distruzione di nucleo che intercetta il substrato	61
SD	Sondaggio a distruzione di nucleo	855
CPT	Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)	828
CPTe	Prova penetrometrica statica con punta elettrica	97
CPTU	Prova penetrometrica statica con piezocono	90
DH	Prova sismica in foro tipo <i>Downhole</i>	16
CH	Prova sismica in foro tipo <i>Crosshole</i>	1
DL	Prova penetrometrica dinamica leggera	10
DN	Prova penetrometrica dinamica media	20
DMT	Prova dilatometrica	1
DS	Prova penetrometrica dinamica super pesante	36
ESAC_SPAC	Array sismico, ESAC/ SPAC	6
HVSR	Stazione microtremore a stazione singola	310
PA	Pozzo per acqua	303
T	Trincea o pozzetto esplorativo	3
SP	Sondaggio con piezometro	20
MASW	MASW	126
REMI	Prova RefractionMicrotremors	48
SR	Profilo sismico a rifrazione	10
ERT	Tomografia elettrica	2

Tabella 4.1. Elenco per tipologia e numero delle indagini geognostiche disponibili per questo studio

Le figure 4.1 e 4.2 rappresentano la distribuzione nel territorio studiato delle prove geognostiche e geofisiche disponibili.

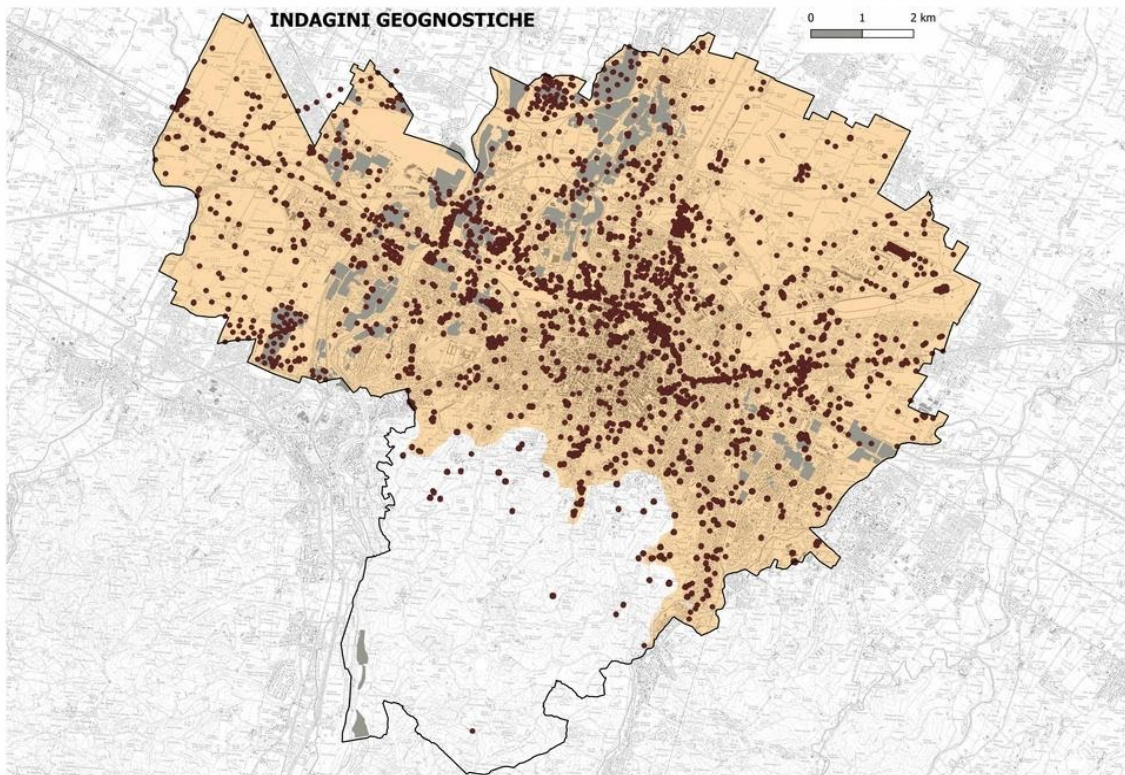


Figura 4.1. Distribuzione delle indagini geognostiche disponibili per questo studio

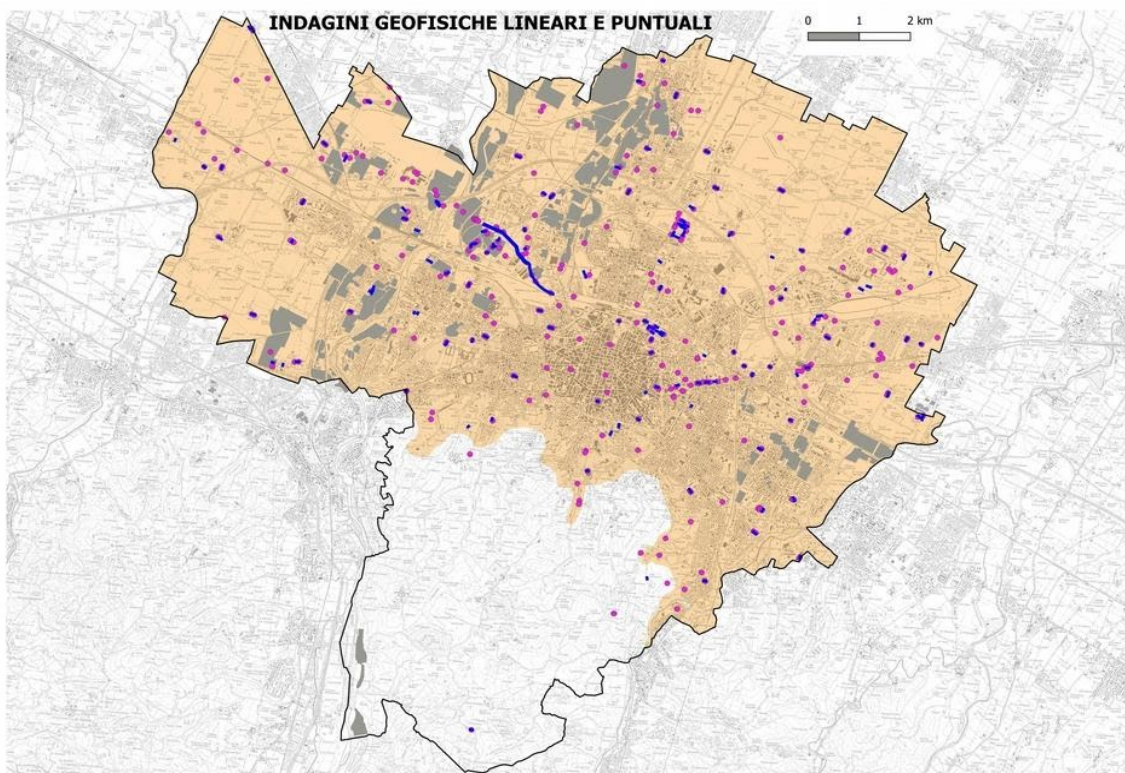


Figura 4.2. Distribuzione delle indagini geofisiche disponibili per questo studio: lineari (blu) e puntuali (fuxia)

Pur avendo complessivamente una buona copertura di indagini geognostiche/geofisiche, sono state eseguite alcune ulteriori registrazioni microtremori sismici a stazione singola (HVSR) in settori di territorio di particolare complessità, densamente urbanizzati e con scarse informazioni sismostratigrafiche disponibili, come ad esempio nel settore urbanizzato collinare e nella zona di centro storico (foto 4.1).



Foto 4.1. Alcune registrazioni HVSR eseguite nel centro storico di Bologna per questo studio: basilica di San Francesco; Piazza Maggiore; Piazza Cavour (da sx a dx)

Si è così potuto disporre di 310 misure puntuali di microtremore sismico, per lo più eseguite con tromografo digitale “Tromino” e con disponibili gli esiti spettrali di amplificazione H/V. Tale strumento misura il rumore di fondo e lo utilizza come funzione di eccitazione per identificare in maniera passiva, non invasiva e rapida le frequenze di risonanza del sottosuolo, che sono in relazione diretta con l'amplificazione sismica, oggi considerata da molti una delle più importanti cause di danno e distruzione durante un terremoto (Mucciarelli, 2012).

Occorre rammentare che il metodo HVSR considera i microtremori come composti in massima parte da onde di superficie (di Rayleigh) nelle componenti orizzontali e verticali, in grado di essere amplificate per effetto di sito a causa della presenza di discontinuità stratigrafiche nel sottosuolo.

In questo senso, l'analisi delle amplificazioni spettrali H/V ha permesso di ricavare dati sismostratigrafici e informazioni preliminari sulla risposta sismica locale a supporto del presente studio, di particolare utilità per l'individuazione delle MOPS nel territorio di Bologna.

Tra le indagini di repertorio è da segnalare la disponibilità di ben 17 prove sismiche in foro (16 “Down-Hole” e 1 “Cross-Hole”) con esiti diretti di misura delle velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio Vs. Sono inoltre disponibili 187 prove penetrometriche statiche elettriche (CPTU e CPTU) che risultano particolarmente utili per la definizione tessiturale dei sedimenti attraversati e per le prime valutazioni, come vedremo, in merito alla possibilità di liquefazioni dei terreni in caso di evento sismico.

Modello del sottosuolo

Il contesto geologico generale, descritto nel capitolo 3 e gli esiti delle indagini geognostiche e geofisiche disponibili e di nuova esecuzione hanno permesso la classificazione e la modellazione del sottosuolo finalizzata alla caratterizzazione sismica.

In tal senso, per lo studio di microzonazione sismica di Bologna si è potuto disporre di molti punti di controllo, seppure con evidenti concentrazioni in alcune aree, tutto sommato ben distribuiti sull'intero

territorio comunale. Questo consente di ottenere un'attendibile ricostruzione delle caratteristiche litologiche e sismiche dei primi 20÷40 metri di sottosuolo nelle aree interessate dallo studio.

Le conoscenze litostratigrafiche degli areali studiati vengono sintetizzate nella Carta Geologico Tecnica, che riporta le litologie superficiali prevalenti (primi 5÷6 metri) e nella Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS), che presenta la suddivisione del territorio comunale sulla base delle caratteristiche della successione litostratigrafica profonda (fino al bedrock sismico) nel territorio studiato.

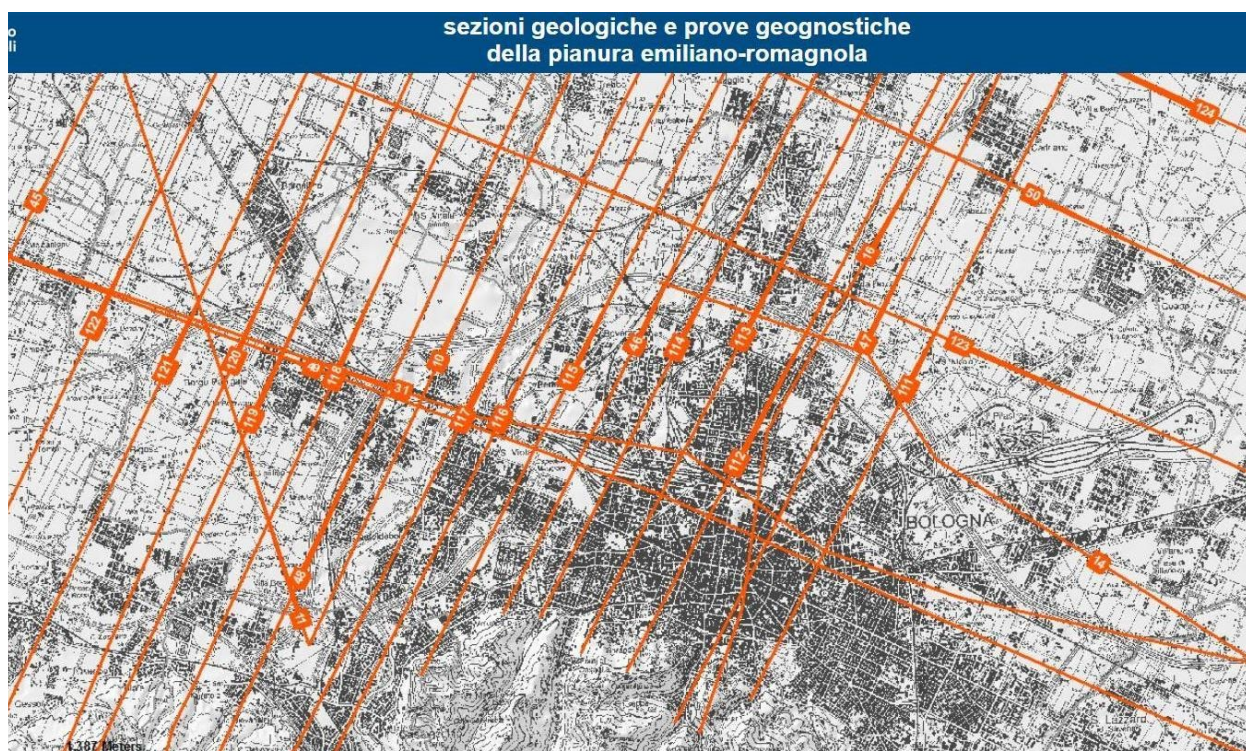
Per la caratterizzazione geologico tecnica dei sedimenti superficiali, lo studio si è basato sul controllo dei dati tessuturali desunti dalle stratigrafie dei sondaggi a carotaggio continuo e, in particolare, sugli esiti delle analisi tessuturali e di classificazione di campioni prelevati (se disponibili). Si è inoltre deciso di considerare anche gli esiti tessuturali automatici desunti da prove penetrometriche e riportati nei report di prova, sebbene risultino spesso inficiati da errori di interpretazione per quanto riguarda lo spessore dei sedimenti insaturi.

Vengono di seguito illustrati gli elementi di sintesi riguardanti la modellazione di sottosuolo nei settori di pianura e collinare. Ulteriori informazioni sono riportate anche nei successivi capitoli.

Settore di pianura

Per il territorio di pianura bolognese, il SGSS della Regione Emilia-Romagna ha reso disponibile e pubblicato²⁸ disponibili numerose sezioni geologiche profonde (figure 5.1 e 5.2). Questi elaborati sono per lo più derivati da sezioni prodotte a supporto dei fogli geologici in scala 1:50.000 del “Progetto Carta Geologica d’Italia”; sono anche incluse le sezioni elaborate per il “Progetto Riserve Idriche Sotterranee” e altri progetti minori. Le sezioni riportano indicazioni sulle unità stratigrafiche, sulle litologie e sulle geometrie dei corpi geologici presenti in profondità, fornendo anche una ricostruzione di sintesi degli acquiferi e degli acquitardi più rilevanti della pianura emiliano-romagnola.

Per questo studio, si sono selezionate sette sezioni geologiche dell'archivio (n.10, 46, 49, 111, 112, 121, 123) regionale, inserite in formato pdf nell’“Allegato 1”.



<https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/cartografia/webgis-banchedati/sezioni-geologiche-prove-geognostiche-pianura>

Figura 5.1 – Sezioni geologiche profonde disponibili (fonte: SGSS-RER)

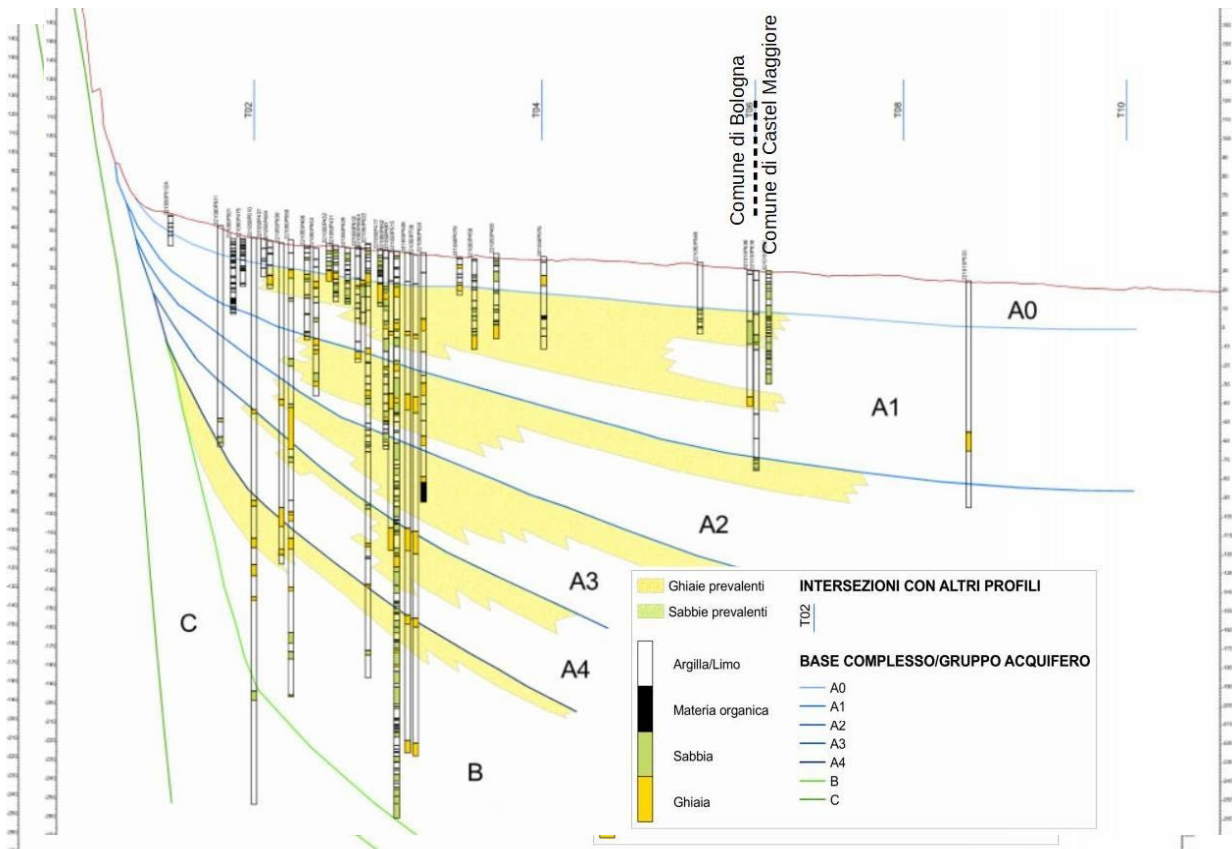


Figura 5.2 – Stralcio sezione geologica n.112 (fonte: SGSS-RER)

Le sezioni geologiche, costruite sulla base dei dati di sottosuolo profondo complessivamente disponibili (RER & ENI-AGIP), evidenziano alternanze di spessori ghiaioso sabbiosi e spessori di depositi più fini, con una netta prevalenza dei primi in prossimità degli sbocchi vallivi del Reno, del Savena e del Lavino (depositi di conoide alluvionale). Gli spessori complessivi dei depositi alluvionali risultano molto variabili dagli sbocchi vallivi (e margine appenninico) verso la bassa pianura; i dati disponibili hanno tuttavia permesso la ricostruzione della base del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (SERS), costituita dai depositi di età compresa da circa 0,45Ma, che nel territorio comunale raggiunge una profondità di oltre 250 metri nel settore più settentrionale (es. zona “Corticella”) come evidenziato nella figura 5.3.

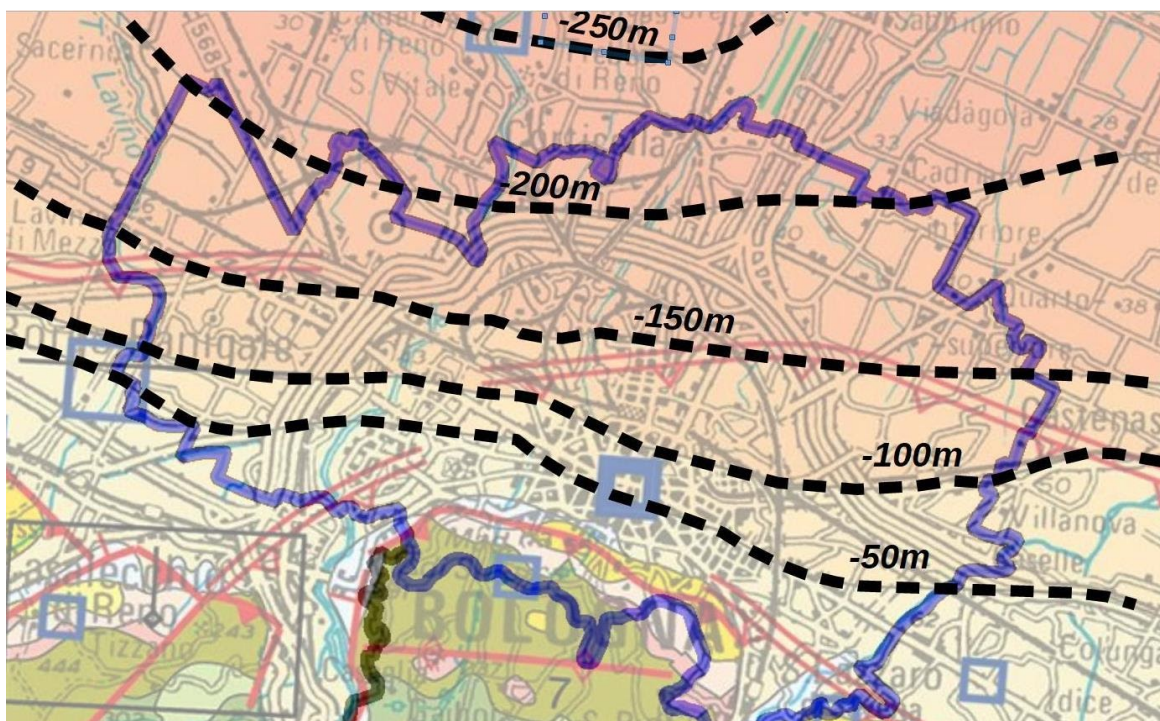


Figura 5.3 – Stralcio della Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna ed aree limitrofe (RER, 2016). Sono sovrapposti i confini comunali di Bologna e rimarcate le isobate della base del Sintema SERS/AES (m slm)

Dal punto di vista sismico, è necessario rammentare che la prima importante discontinuità stratigrafica (a partire dal piano campagna), in grado di influenzare il moto sismico in superficie in ampi settori di pianura, può essere associata al tetto dei corpi ghiaiosi di conoide alluvionale sepolta. In questo senso, un importante contributo conoscitivo è fornito dalla ricostruzione (tramite isobate riferite al livello medio del mare), prodotta dal SGSS regionale, di alcune delle principali superfici deposizionali di conoide alluvionale sepolta (figura 5.4).

Per questo studio, i dati regionali già disponibili sono stati integrati con gli esiti delle indagini geognostiche/geofisiche messe a disposizione dal Comune di Bologna, permettendo una caratterizzazione sismostratigrafica dei terreni fino a profondità di oltre 30 metri.

Tutte le indagini geognostiche (penetrometrie; sondaggi) disponibili, hanno innanzitutto consentito di controllare e ricostruire la profondità dei depositi ghiaiosi di conoide alluvionale sepolta da depositi prevalentemente fini, come rappresentato in figura 5.5.

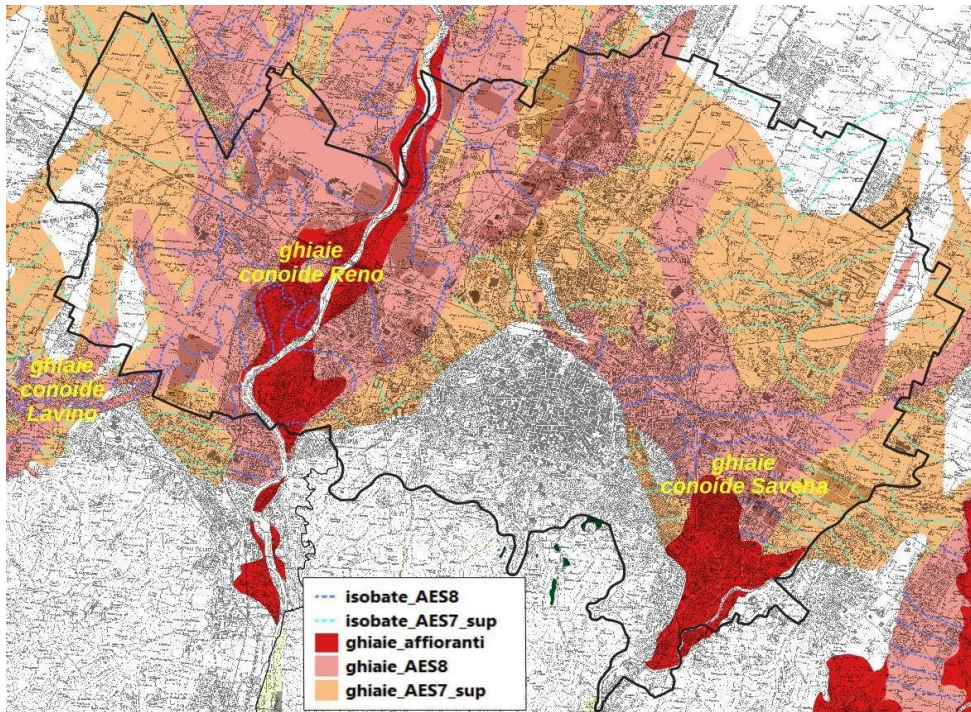


Figura 5.4 – Ricostruzione dei corpi grossolani di conoide nel territorio di pianura del Comune di Bologna (fonte: Banca Dati SGSS-RER)

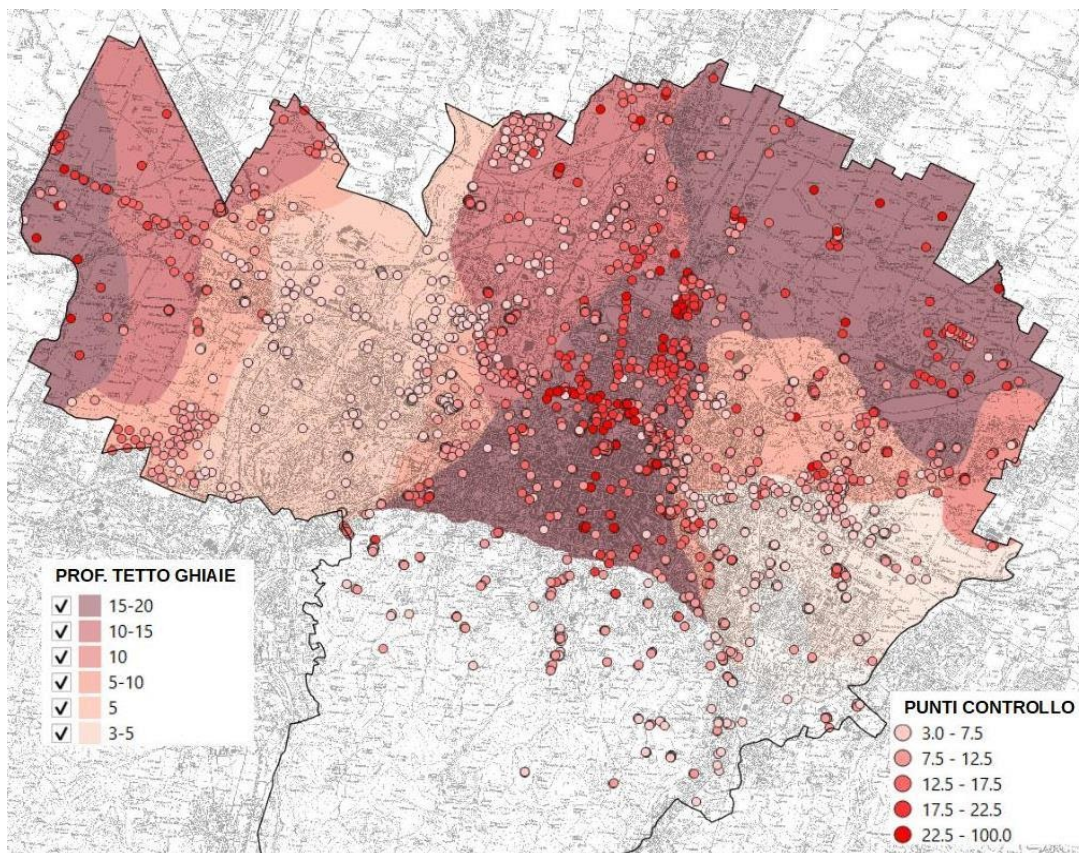


Figura 5.5 – Ricostruzione della profondità del tetto delle ghiaie meno profonde intercettate dalle prove geognostiche disponibili (sondaggi e penetrometrie)

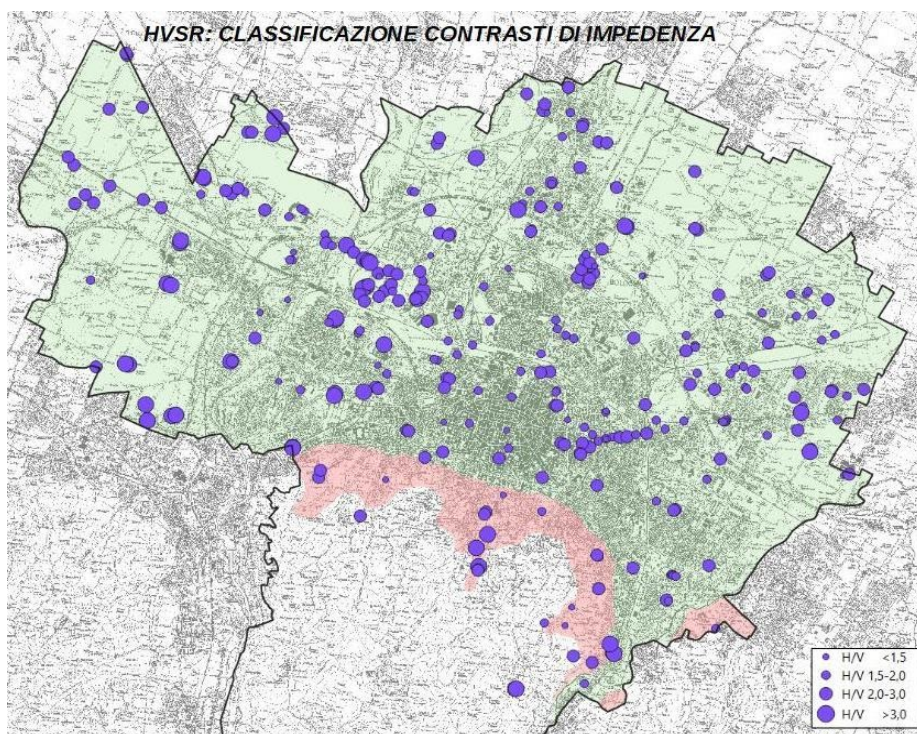


Figura 5.6 – Classificazione delle registrazioni sismiche HVSr disponibili: in alto classi di frequenza di risonanza; in basso classi di massima ampiezza spettrale H/V

Come già descritto (cfr. capitolo 4), le numerose registrazioni HVSr disponibili hanno permesso identificare in maniera passiva, non invasiva e rapida le frequenze di risonanza del sottosuolo (figura 5.6). Si rammenta che massimi contrasti di impedenza misurati dallo strumento tromografico sono associabili a riflettori sismici e che, nel territorio di pianura bolognese, tali riflettori possono coincidere con il tetto delle ghiaie di conoide sepolte.

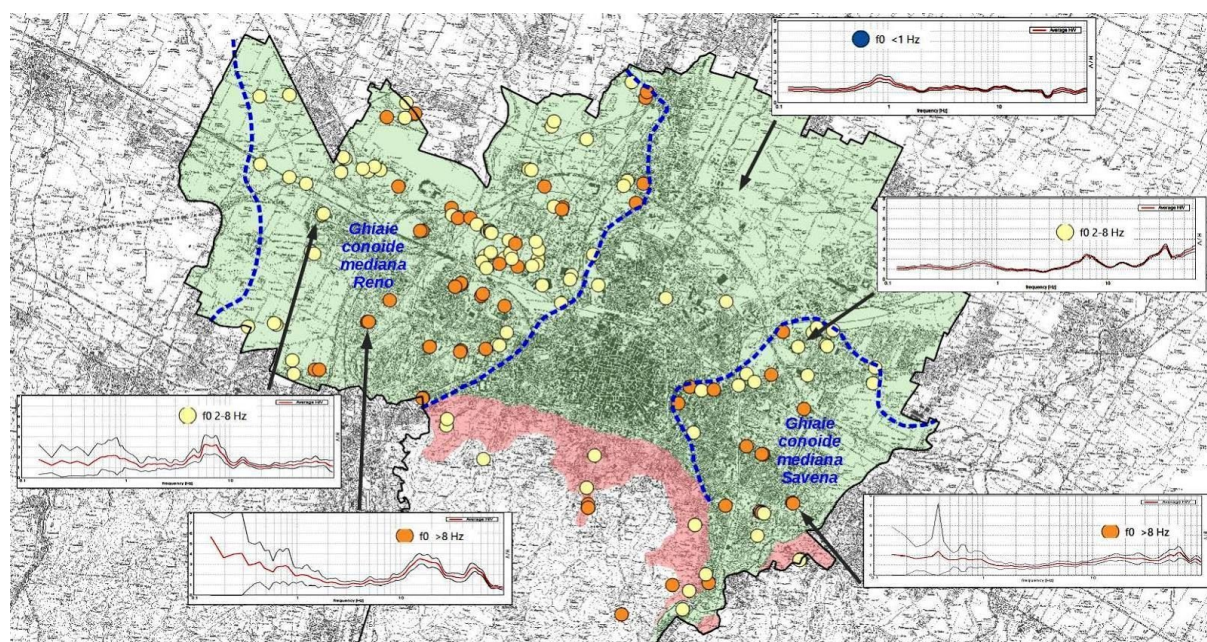
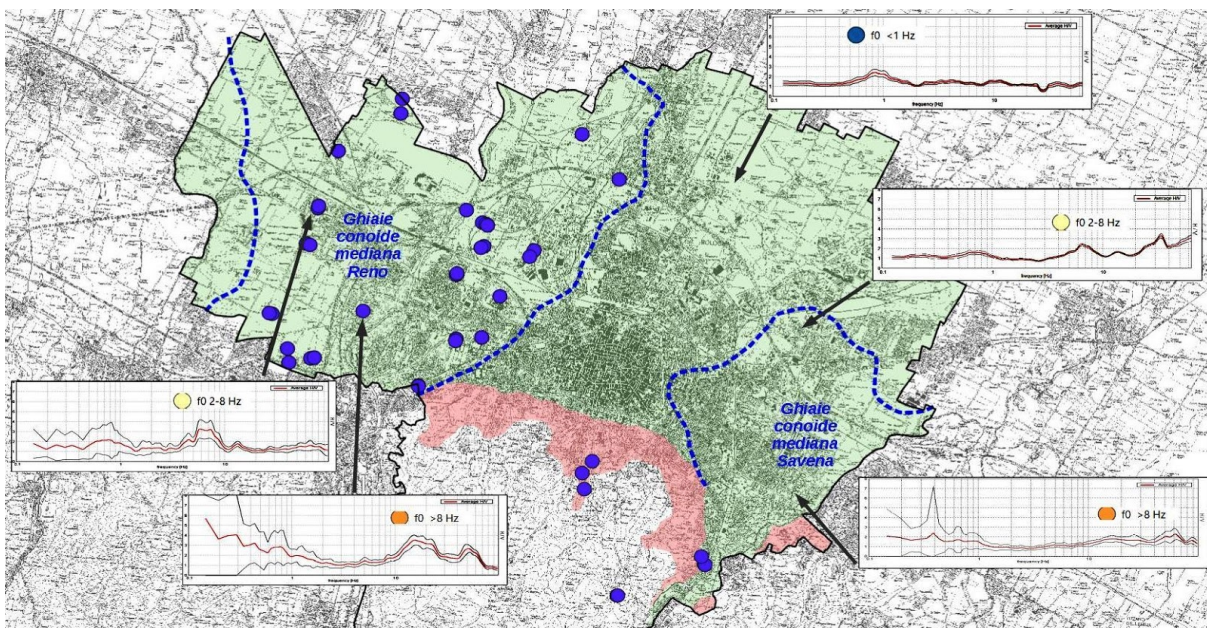


Figura 5.7 – La figura evidenzia la concentrazione delle registrazioni sismiche HVSR con frequenze di risonanza fondamentali medio alte ($f_0 > 2$ Hz)

Figura 5.8 – La figura evidenzia la concentrazione delle registrazioni sismiche HVSR con contrasti di impedenza elevati ($H/V > 3$). Nel settore di collina, le prove HVSR con elevati contrasti sono state su terreni di copertura sovrastanti substrato roccioso relativamente rigido (PAT e GES)

L'analisi delle registrazioni HVSR e in particolare degli esiti spettrali H/V (frequenze fondamentali F_0 e massime intensità degli alti spettrali), come schematizzato nelle figure 5.7 e 5.8, rilevano areali caratterizzati da risposta sismica locale molto differenziata. In particolare si possono distinguere:

- areali caratterizzati da frequenze di risonanza fondamentali medio-alte ($f_0 > 2$ Hz). Tali esiti, sono generalmente correlabili alla presenza di riflettori sismici situati fino a circa 30 metri di profondità. Questi risultati sono ottenuti in numerose registrazioni effettuate nel settore di conoide mediana del Reno e del Savena. In questo senso la figura 5.7 evidenzia tutte le prove HVSR con massime amplificazioni a frequenze medio alte ($f_0 > 2$ Hz). Simili risultati sono ricavati anche in registrazioni effettuate in alcuni areali del settore collinare e in questo caso le amplificazioni spettrali sono correlabili a riflettori sismici alla base delle coperture più “soffici” (depositi di versante; alluvioni di fondovalle). In alcuni casi, sono state registrate massime amplificazioni a frequenze medio alte anche in presenza di substrato marino affiorante ma caratterizzato da uno spessore più superficiale molto alterato;
- areali caratterizzati da frequenze di risonanza fondamentali basse ($f_0 < 2$ Hz). Questi risultati



sono correlabili a riflettori sismici situati a profondità generalmente maggiori di 30 metri. Si tratta di misure effettuate prevalentemente nei settori NE e Ovest del territorio comunale. L'assenza di amplificazioni a frequenze medio-alte è legata all'assenza di orizzonti ghiaiosi poco profondi. Simile condizione si riscontra anche nel settore di “interconoide” Reno-Savenna (all'incirca coincidente con il centro storico del Capoluogo e con la zona urbane “Bolognina”) ma anche in areali attribuibili alla porzione distale della conoide del Savena e del Lavino (intervalli ghiaiosi di modesto spessore, poco consolidati e con matrice limoso sabbiosa più abbondante)

- areali caratterizzati da contrasti di impedenza più elevati (anche $H/V > 3$), come evidenziato nella figura 5.4. Questi esiti sono stati ottenuti in numerose registrazioni HVSR eseguite nel settore di conoide recente del fiume Reno. Questi areali sono caratterizzati da orizzonti ghiaiosi poco profondi (a partire da -10÷15 metri) a tessiture più grossolane e anche ben consolidati e con buon grado di rigidità (figura 5.9), come si è appurato dalle ulteriori indagini geofisiche disponibili (ghiaie caratterizzate da V_s fino a 400÷450 m/s). Simili risultati sono ricavati in alcune registrazioni HVSR eseguite nel settore di collina e in particolare in aree caratterizzate da coperture quaternarie sovrastanti bedrock marino discretamente rigido come i Gessi e la Formazione di Pantano ($V_s > 500$ m/s).

È interessante segnalare come le prove HVSR effettuate nel settore di conoide mediana del Savena, abbiano per lo più registrato frequenze fondamentali medio-alte (con orizzonti ghiaioso sabbiosi già attraversati a -5÷10 metri di profondità), tuttavia i contrasti di impedenza risultano più moderati (figure 5.6 e 5.7) rispetto al rispettivo settore di conoide mediane attribuibile al fiume Reno. Ciò è evidentemente correlabile alla presenza di depositi grossolani meno consolidati, meno grossolani e conseguentemente rigidi. In questo senso, indagini geofisiche disponibili riscontrano per le ghiaie sabbiose del Savena V_s di circa 300÷350 m/s (figura 5.10).

Nelle parti di pianura caratterizzato da successioni di depositi prevalentemente fini (interconoide Reno-Savena; territorio comunale NE e Ovest) le indagini geofisiche hanno riscontrato V_s equivalenti (V_{s30}) comprese tra circa 250 m/s e 200 m/s.

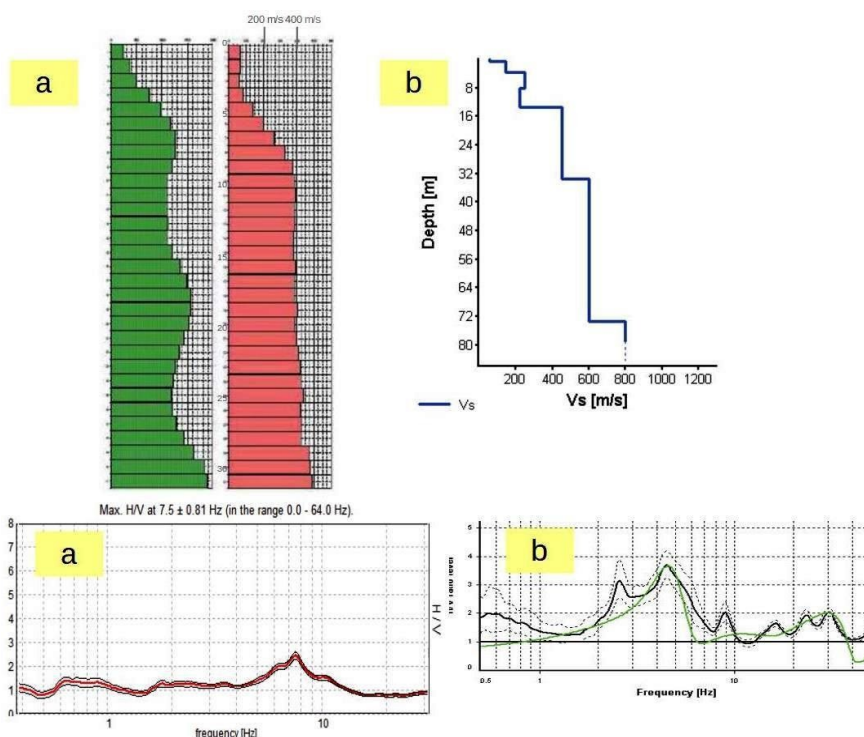


Figura 5.9 – Modelli sismostratigrafici ricavati da prove geofisiche: a) Down-Hole e HVSR eseguite in zona Bertalia. b) HVSR eseguita presso Borgo Panigale

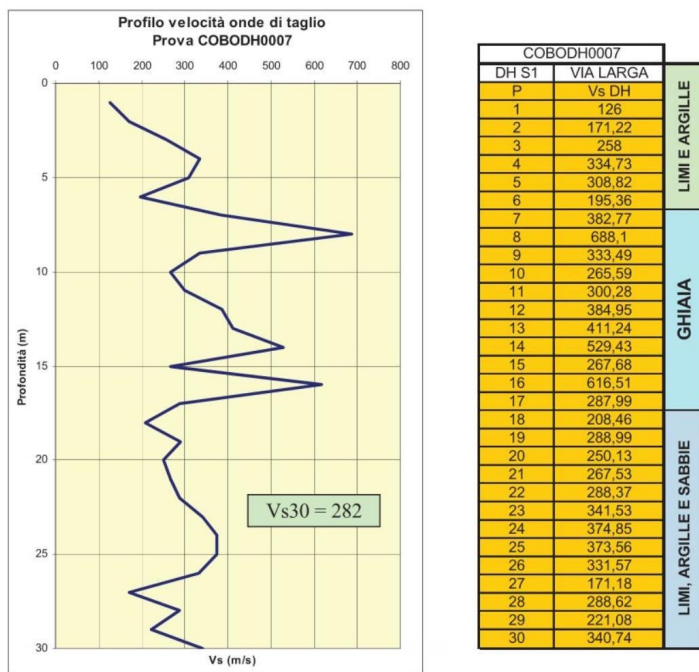


Figura 5.10 – Modello sismostratigrafico ricavato da prova Down-Hole eseguita in zona “via Larga”

Nel settore di pianura, le indagini hanno inoltre consentito il controllo di intervalli granulari liquefacibili fino a 20 metri di profondità. Si tratta di un'analisi di carattere esclusivamente qualitativo, basato sul controllo tessiturale. La descrizione del metodo di controllo e gli esiti sono riportati nel successivo capitolo 6.

Settore di collina

Il modello di sottosuolo del settore collina è ricostruito analizzando anche in questo caso i dati di tutte le indagini di repertorio disponibili e i successivi dati ricavati dalle misure di microtremore a stazione singola (HVSr) realizzate per tale lavoro. Ci si è basato anche su quanto indicato nella Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000, in particolare per la redazione della carta geologico-tecnica.

In generale, la litostratigrafia del sottosuolo desunta dalle indagini conferma l'assetto descritto nell'inquadramento, riportato nel capitolo 3. La carta geologico tecnica riporta le litologie superficiali prevalenti (primi 5-6 metri) e la carta delle MOPS presenta la suddivisione del territorio studiato sulla base delle caratteristiche della successione litostratigrafica nei primi 30 metri circa, schematizzando le conoscenze litostratigrafiche degli ambiti di studio. In sintesi, gli areali studiati sono caratterizzati dalla presenza in superficie di:

- substrato roccioso affiorante/subaffiorante, prevalentemente costituito da marne argillose e/o siltose (Formazione di Cigarello CIG; Formazione del Termina TER; Argille Azzurre FAA) e da sabbie e areniti poco cementate (Sabbie di Imola IMO).

In alcune limitate aree sono affioranti depositi più competenti (prevalentemente areniti alternate a peliti marnose), attribuibili alla Formazione di Pantano PAT (affioranti ad esempio nei rilievi presso San Luca; inoltre rappresentano il substrato in parte del fondovalle Aposa a

sud di San Mamolo) e ai depositi messiniani evaporitici GES (substrato in parte del fondovalle Savena eaffioranti nel suo versante prospiciente; Monte Donato);

- depositi alluvionali prevalentemente ghiaioso sabbiosi lungo i corsi fluviali principali (Savena; Aposa; Ravone);
- depositi alluvionali terrazzati a granulometria variabile dalle ghiaie sabbiose alle sabbie limose, fino alle argille limose (AES; AES5; AES6, AES7, AES8 e AES8a);
- depositi eluvio-colluviali e di versante lungo i versanti e ai piedi degli stessi;
- depositi di frana attivi o quiescenti (prevalentemente per scivolamento e/o colamento).

Per quanto riguarda il substrato, si tratta di bedrock sismici “non rigidi”, spesso caratterizzati da alterazione, anche legata a stress di natura tettonica (cfr. paragrafo 3.2). Nei depositi marini prevalentemente pelitici (CIG; TER; FAA) e nelle Sabbie Gialle, le indagini disponibili hanno spesso evidenziato fronti superficiali scarsamente consistenti, con prove penetrometriche che hanno facilmente raggiunto profondità d'investigazione di oltre 15-20 metri. In queste categorie di substrato, le indagini sismiche hanno inoltre riscontrato esiti di velocità di taglio (V_s) molto basse, con V_{s30} comprese tra poco meno di 250 m/s e 350 m/s (figura 5.11).

Velocità di taglio più elevate, tuttavia da attribuire ancora a bedrock “non rigido”, sono invece ricavate nei depositi messiniani gessosi e in particolare nei depositi arenitici della Formazione di Pantano, con valori massimi di V_{s30} fino a poco oltre 500 m/s (figura 5.12).

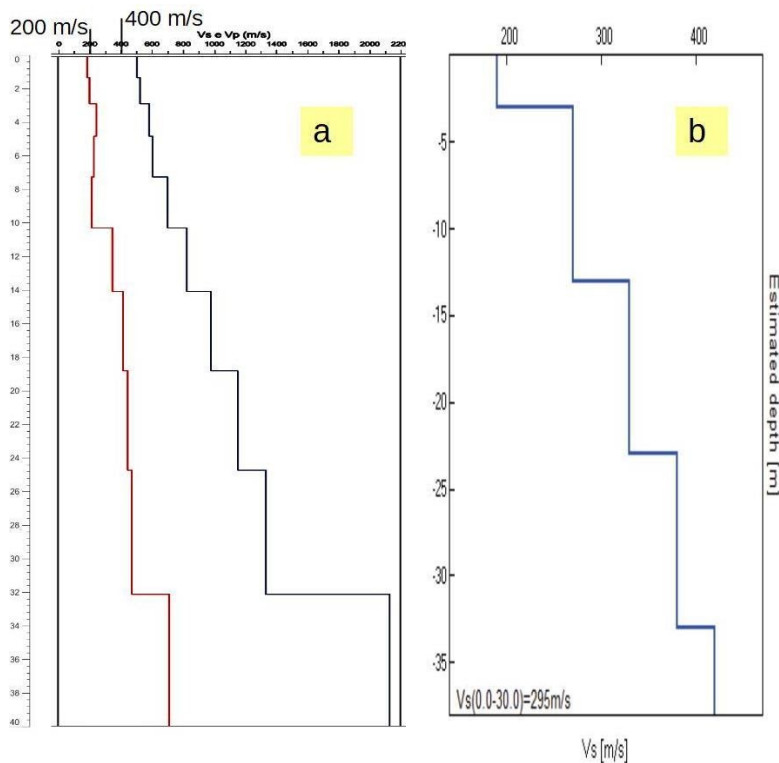


Figura 5.11 – Modelli sismostratigrafici ricavati da prove geofisiche nel settore di collina: a) MASW eseguita nel fondovalle Ravone a sud di Villa Spada (bedrock marino FAA) b) MASW eseguita presso il “Seminario regionale” (bedrock marino TER)

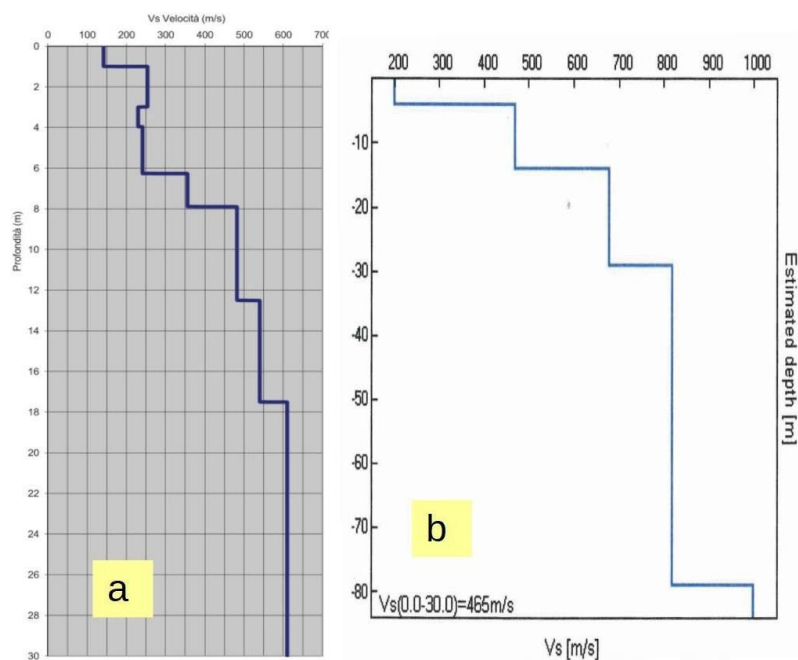


Figura 5.12 – Modelli sismostratigrafici ricavati da prove geofisiche nel settore di collina: a) MASW eseguita nel fondovalle Savena (bedrock marino GES con coperture alluvionali fino a circa -8 metri) b) HVSr eseguita nel fondovalle Aposa a sud di San Mamolo con coperture alluvionali fino a 4 metri (bedrock marino PAT)

Le indagini disponibili hanno inoltre permesso di stimare gli spessori dei depositi di copertura quaternari che sovrastano il substrato marino. In particolare, le registrazioni HVSr hanno permesso di accertare la presenza o l'assenza di contrasti di impedenza nei terreni indagati, consentendo la determinazione di modelli sismostratigrafici che prevedono, appunto coltri di copertura su bedrock. Le misurazioni HVSr, correlate con dati stratigrafici e misure di Vs, hanno infatti spesso consentito di associare i picchi principali di H/V alla profondità del contatto tra i depositi terrazzati e di versante con il substrato, in genere sempre alterato nei primi metri. Come già descritto nel precedente paragrafo, alcune registrazioni HVSr hanno evidenziato amplificazioni spettrali a frequenze medio-alte ($f_0 > 2$ Hz), piuttosto pronunciati, direttamente legata alla differenza di velocità degli strati, in aree caratterizzate da coperture quaternarie sovrastanti bedrock marino discretamente rigido come i Gessi e la Formazione di Pantano (figura 5.13).

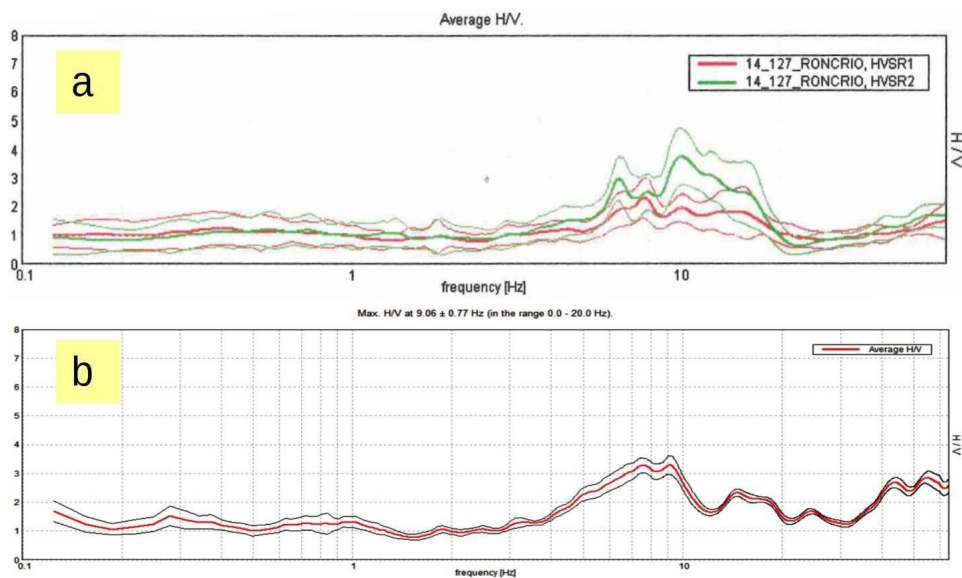


Figura 5.13 – Spettri H/V ottenuti da registrazioni eseguite in aree con substrato marino PAT (a) e GES (b) in entrambi i casi con coperture alluvionali (fondovalle rispettivamente dell'Aposa e del Savena)

Interpretazioni e incertezze

Commenti introduttivi

I dati geognostici considerati offrono una sufficiente “copertura” conoscitiva delle aree studiate e le indagini geofisiche espletate ex novo per questo studio di microzonazione (registrazioni HVS) consentono una modellazione del sottosuolo esaustiva per l'elaborazione della risposta sismica locale semplificata (secondo livello).

Le incertezze sono comunque accettabili in funzione del grado di approfondimento che si è inteso espletare. Lo studio, ha inoltre ben definito le aree che dovranno ineludibilmente approfondire gli aspetti di pericolosità sismica.

Nei successivi paragrafi si introducono le principali scelte effettuate a scopo interpretativo, evidenziandone le ragioni e gli elementi a sostegno, ma cercando di valutare anche le inevitabili incertezze e limitazioni non ancora risolvibili in questo livello di approfondimento.

Valutazioni sulla liquefacibilità

L'analisi della liquefacibilità dei sedimenti, se sottoposti a sollecitazioni cicliche indotte da terremoti, è di fondamentale importanza per gli aspetti di progettazione geotecnica antisismica. In particolare, occorre valutare, nel modo più adeguato possibile, le effettive condizioni di suscettibilità, le condizioni di innesco e il rischio sito specifico di tale fenomeno.

Con il termine “liquefazione” si indicano vari fenomeni fisici (mobilità ciclica, liquefazione ciclica, fluidificazione) osservati durante terremoti significativi (generalmente, $M > 5.5$) nei depositi e nei pendii sabbiosi saturi; in questi sedimenti, le condizioni “non drenate” durante il sisma possono indurre un incremento e un accumulo delle pressioni interstiziali, che a loro volta possono provocare una

drastica caduta della resistenza al taglio e quindi una perdita di capacità portante del terreno. Il meccanismo di liquefazione dei sedimenti è governato da molti fattori che si possono ricondurre principalmente:

- alle caratteristiche dell'impulso sismico (forma; durata dello scuotimento; ecc.) e della sua energia (magnitudo; accelerazioni; ecc.);
- alle caratteristiche tessiturali e meccaniche dei sedimenti (fuso granulometrico; densità relativa; coesione; limiti di Atterberg; ecc.);
- alla presenza di falda superficiale e alle condizioni di confinamento dello strato liquefacibile (non sono riportati casi in letteratura di liquefazione in strati granulari profondi oltre 15-20 metri).

La differenza fra i diversi fenomeni dipende dalle tensioni di taglio mobilitate per l'equilibrio in condizioni statiche e dalla resistenza al taglio residua dopo il terremoto.

In condizioni di sisma, vi possono anche essere effetti di "riordino" dei sedimenti, con possibilità di cedimenti significativi che possono coinvolgere sia i depositi granulari, sia i sedimenti fini poco coesivi. Nell'ultimo decennio, sono state elaborate procedure di stima delle potenziali deformazioni post-sisma, provocate da perdite di resistenza, anche nei sedimenti fini (limi e argille a comportamento "non drenato"). Quest'ultimo fenomeno è noto con il termine "cyclic softening" (Idriss & Boulanger, 2004 e 2008).

Fenomeni di liquefazione si sono chiaramente manifestati durante gli eventi sismici emiliani del maggio 2012, tuttavia non si sono riscontrati i fenomeni più critici riconducibili a fluidificazione (con perdita della capacità portante del terreno dei sedimenti al di sotto delle costruzioni); anche i cedimenti rilevati degli edifici sono risultati complessivamente limitati e per lo più uniformi al di sotto delle costruzioni²⁹. Per ulteriori aspetti teorici, si rimanda alla vasta letteratura scientifica e in particolare ai rapporti tecnici elaborati a seguito del sisma emiliano del maggio 2012 (consultabili anche on line nel sito del SGSS).

Lo studio di microzonazione sismica di Bologna ha consentito un'accurata analisi qualitativa delle condizioni di propensione alla liquefazione dei sedimenti, basata innanzitutto sugli accertamenti tessiturali predisponenti, desunti dalle prove geognostiche (sondaggi e prove penetrometriche). In questo senso, si è potuto disporre di vari dati tessiturali diretti, ricavati da sondaggi di repertorio (fusi granulometrici; limiti di Atterberg; prove di taglio; ecc.), in numero tuttavia non esaustivo per effettuare una valutazione a una scala territoriale. Si sono pertanto considerati gli esiti delle prove penetrometriche CPT e CPTE/CPTU disponibili. In particolar modo si dispone di 176 prove CPTE/CPTU, prevalentemente realizzate negli ultimi 7÷8 anni anche in zone densamente urbanizzate. Si rammenta che le prove penetrometriche elettriche consentono una migliore interpretazione degli intervalli tessiturali potenzialmente liquefacibili, rispetto alle altre tipologie di penetrometrie statiche o dinamiche in quanto restituiscono diagrammi litotecnici molto più definiti (letture delle resistenze alla penetrazione fino a 1 cm/avanzamento). In conclusione, si sono complessivamente controllati 306 indagini geognostiche punti che raggiungono almeno 10 metri di profondità.

Per analizzare la potenziale suscettibilità alla liquefazione si è deciso di discriminare due differenti intervalli (layer) di verifica, rispettivamente fino a 0÷10 metri e 10÷20 metri. Ciò ha permesso di "pesare" maggiormente le prove che riscontrano livelli potenzialmente liquefacibili nei primi 10 metri, in quanto tale intervallo è generalmente ritenuto più suscettibile alla liquefazione, con conseguenze più gravi in termini di possibilità manifestazioni superficiali (condizioni free-field) e in termini di possibile interazione con le fondazioni dirette (le più diffuse) di manufatti.

²⁹ Fonte: "Rapporto preliminare sui diffusi fenomeni di liquefazione verificatisi durante il terremoto in pianura padana emiliana del maggio 2012", C. Crespellani et Al., 2012.

Tabella 6.1

Profondità	Classi suscettibilità
LAYER 0÷10 metri	L1 = presenza di intervalli liquefacibili saturi >40 cm sotto falda e nei primi 5 metri
	L2 = presenza di intervalli liquefacibili saturi >100 cm tra 5 e 10 metri
LAYER 10÷20 metri	L3 = presenza di intervalli liquefacibili saturi >200 cm tra 10 e 15 metri
	L4 = presenza di intervalli liquefacibili saturi >200 cm tra 15 e 20 metri

Tabella 6.1

Le prove geognostiche (figura 6.1), sono state classificate basandosi sul principio metodologico già adottata dal SGSS regionale per gli studi di microzonazione sismica³⁰ nei Comuni maggiormente danneggiati dagli eventi sismici del maggio e giugno 2012. Il controllo delle indagini permettono di distinguere le classi tessiture riportate nella tabella 6.1.

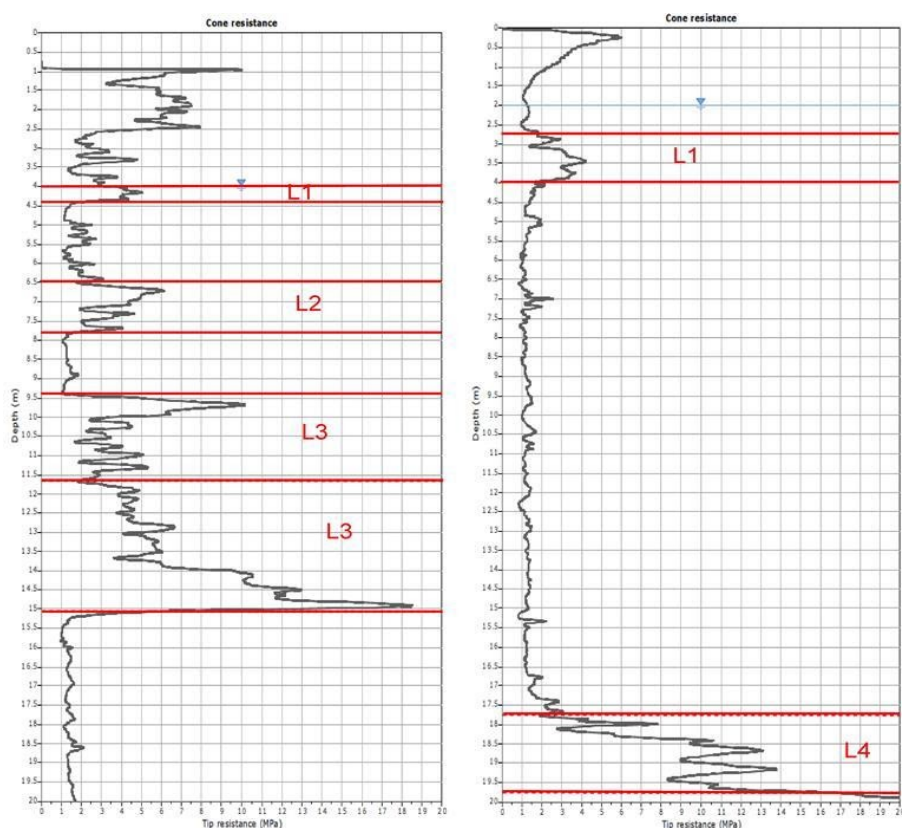


Figura 6.2. Esempi di interpretazione dei diagrammi di prove CPT e CPTU per l'identificazione di condizioni predisponenti la liquefazione

Per questo studio, si è inoltre considerato il contesto idrogeologico locale desunto dal quadro conoscitivo del PSC di Bologna (cfr. paragrafo 3.4); inoltre, nelle prove di controllo, sono state esaminate anche le quote d'acqua rilevate all'epoca dell'esecuzione e in particolar modo il controllo ha interessato le terebrazioni più recenti. Da questo controllo non sono tuttavia emerse particolari variabilità rispetto ai dati di oltre 20 anni. Si evidenzia la discreta soggiacenza (>4 metri) che interessa tutto il settore meridionale dell'abitato e in particolare le zone "Centro", "Murri", "Saffi", "Barca", "Santa

³⁰

Vedi tavole MOPS elaborate per i Comuni ai sensi dell'Ordinanza del Commissario delegato n. 70/2012).

Viola” presumibilmente riconducibile alla scarsità di acquiferi granulari superficiali e all'impossibilità di “ricarica” superficiale indotta dal forte contesto di impermeabilizzazione dell'urbanizzato.

La figura 6.1 riporta una sintesi della classificazione dei punti di controllo dell'intero territorio comunale, relativamente alla presenza di intervalli “L1” e “L2” nei primi 10 metri di sottosuolo (profondità che risulta comprendere la maggior parte dei “volumi significativi” di terreni per gli edifici).

L'analisi delle indagini disponibili ha consentito di delimitare con maggiore accuratezza le zone caratterizzate da involuppi di paleoalvei recenti e di “crevasse” attribuibili al Savena (settore NE del Comune), al Reno (settore nord) al Lavino (settore orientale). Nel settore centrale del territorio comunale pianeggiante (zona “Bolognina”) sono infine riscontrati corpi sabbiosi saturi attribuibili ad alcuni paleoalvei dei corsi d'acqua secondari Aposa e Ravone.

Il confronto tra esiti tessiturali e il contesto idrogeologico locale ha quindi consentito di delimitare le “zona di attenzione per liquefazioni”, in coerenza con gli standard di rappresentazione per gli studi di microzonazione sismica (v. 4.1).

Occorre precisare che per le zone di potenziale propensione al fenomeno della liquefazione dovranno essere eseguiti ulteriori approfondimenti per accertare le effettive condizioni di pericolosità. Gli approfondimenti dovranno quantificare con gli opportuni metodi (cfr. Allegato A3 DGR 630/21019) il potenziale di liquefazione locale, necessario per le valutazioni sul rischio per i manufatti esistenti e di previsione.

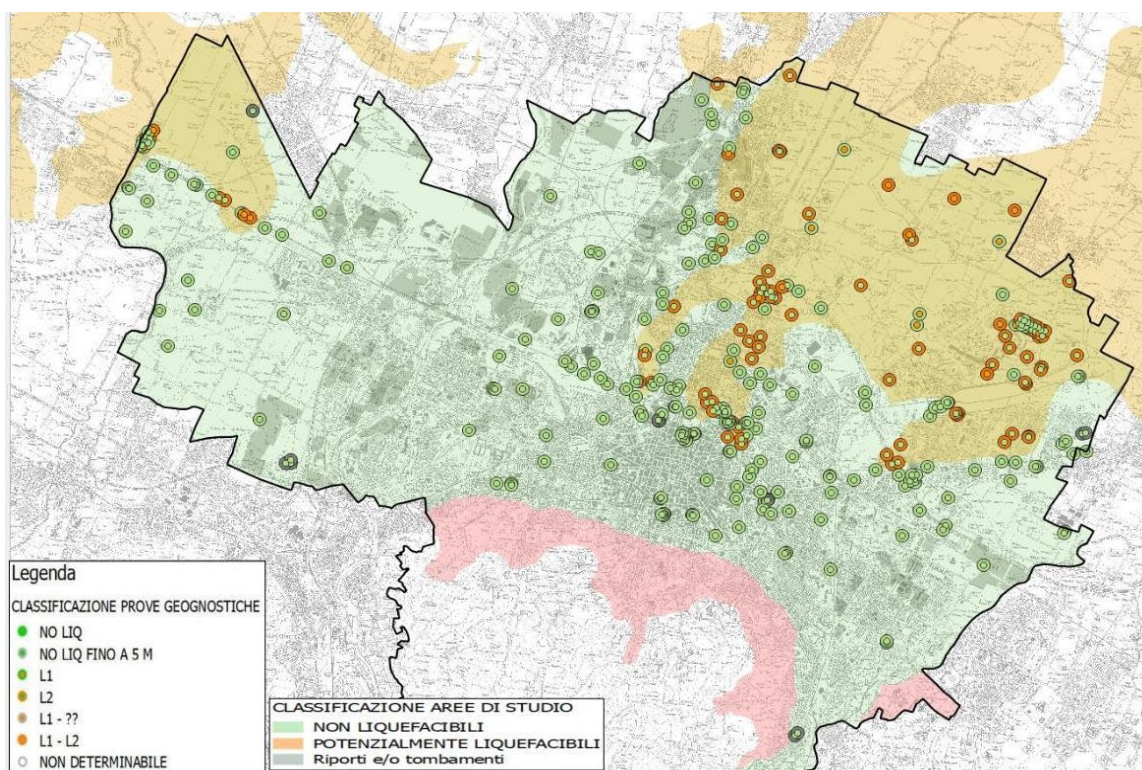


Figura 6.3. Classificazione dei punti di controllo geognostici finalizzata alla ricostruzione delle zone di potenziale liquefabilità in base alla presenza di strati granulari in falda.

Aree con cavità sepolte

Nel territorio urbano del Capoluogo si sono delimitati le principali “cavità sepolte” di natura antropica, descritte nel paragrafo 3.5 (Canali tombati; Stazione AV; parcheggi interrati multipiano). Tali elementi sono riportati nella cartografia MOPS come forme sepolte. A tali aree non si forniscono particolari condizioni di attenzione, tuttavia si vuole evidenziare la presenza di questi elementi quale dato conoscitivo ai fini delle analisi di rischio sismico a supporto di eventuali studi urbanistici e/o di progettazione in areali limitrofi.

Definizione del substrato rigido

Tra gli obiettivi degli approfondimenti espletati, vi è stato, innanzitutto, quello di definire con maggior dettaglio il bedrock sismico di riferimento per le modellazioni numeriche di RSL.

Per quanto riguarda il contesto di pianura, occorre premettere che le indagini eseguite per gli studi di microzonazione sismica nei Comuni maggiormente danneggiati dal sisma emiliano del 2012 (ai sensi dell'Ordinanza RER n.70/2012) hanno offerto un importante contributo conoscitivo per quanto riguarda la risposta sismica nella pianura padana.

Gli studi regionali hanno riscontrato come il primo forte contrasto di impedenza sia collocabile nei depositi alluvionali, in genere tra la base del subsistema AES6 e la più profonda base del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore AES (cfr paragrafo 3.1). Una seconda importante discontinuità sismica corrisponde alla più profonda interfaccia da depositi alluvionali e bedrock marino. Tuttavia, le numerose registrazioni HVSR eseguite nella Pianura Padana indicano che gli effetti di amplificazione legati a quest'ultimo riflettore sismico possono risultare molto variabili in funzione sia della sua profondità, sia delle caratteristiche litologiche/sismostratigrafiche dello spessore alluvionale e del substrato marino. In tal senso, un'ampia bibliografia scientifica (es. Seed et al., 1975) evidenzia che, per elevati spessori (in genere maggiori di 100 metri) di depositi “soffici” alluvionali, si possono riscontrare importanti effetti di smorzamento.

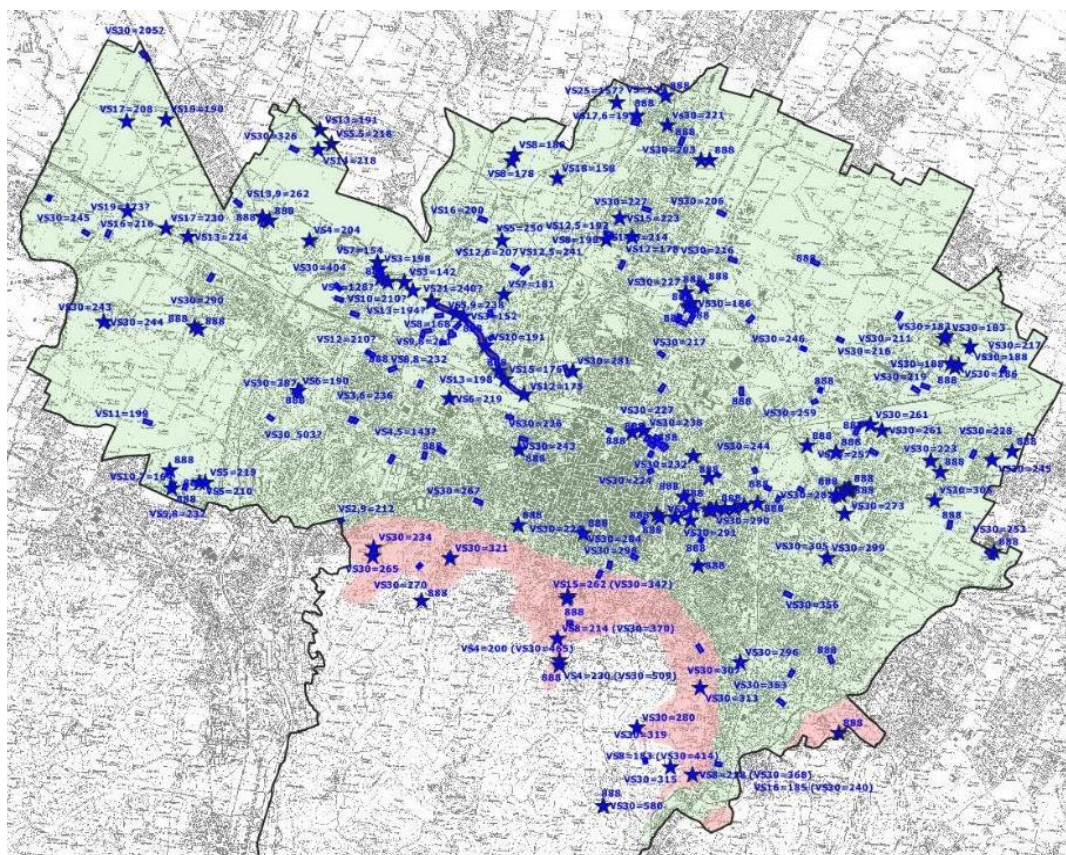


Figura 6.3. Dati sismostratigrafici disponibili desunti da prove lineari e puntuali.

Dal punto di vista sismico, una prima importante discontinuità stratigrafica (a partire dal piano campagna), in grado di influenzare il moto sismico in superficie in ampi settori di pianura, può essere associata al tetto dei corpi ghiaiosi di conoide alluvionale sepolta.

Per il territorio di Bologna, le informazioni di sottosuolo profonde disponibili (sezioni geologiche; sondaggi RER; ecc.) sono stati confrontati con le informazioni sismostratigrafiche desunte dalle indagini geofisiche (figura 6.3) e con gli esiti delle registrazioni HVSR, per interpretare modelli sismostratigrafici il più possibile rappresentativi del contesto locale.

Come già scritto nel paragrafo 5.1, in estesi settori attribuibili al contesto deposizionale di conoide, gli orizzonti grossolani presenti a diverse profondità danno origine a contrasti di impedenza registrate a frequenza medio alte; in alcuni casi (es. conoide Reno) tali contrasti evidenziano amplificazioni spettrali anche elevate in corrispondenza del tetto delle ghiaie più consolidate (Vs fino a 400÷450 m/s).

Negli areali di pianura situati più a NE (verso i confini amministrativi di Castel Maggiore e Granarolo) e verso occidente le frequenze fondamentali risultano molto spesso inferiori a 1 Hz a dimostrazione che i principali riflettori sismici si collocano a profondità superiori a 100 m dal p.c. In questi casi, le frequenze di risonanza fondamentali sembrano dunque correlabili a spessori di sedimenti più grossolani e/o addensati compresi nelle unità alluvionali “AES6” e fino alla base del subSistema SERS (AES). Secondo la nomenclatura scientifica in materia, si tratterebbe, peraltro, di un “pseudo bedrock” sismico, in quanto depositi ancora caratterizzati da Vs inferiori a 800 m/s. Anche il settore di inter conoide Reno-Savena è caratterizzato da registrazioni HVSR prive di contrasti di impedenza a frequenze medio-alte. Le indagini geognostiche hanno infatti confermato l'assenza di intervalli grossolani nei primi 30 metri.

Ai fini della quantificazione delle amplificazioni, nella pianura si sono dunque delimitati gli areali caratterizzati da depositi grossolani poco profondi (fino a -30 metri) in grado di espletare condizionamenti della risposta sismica locale e per le coperture “soffici” sovrastanti le indagini geofisiche disponibili hanno consentito di determinare le relative Vs equivalenti (Vs30 e VsH), come schematizzato nella figura 6.4.

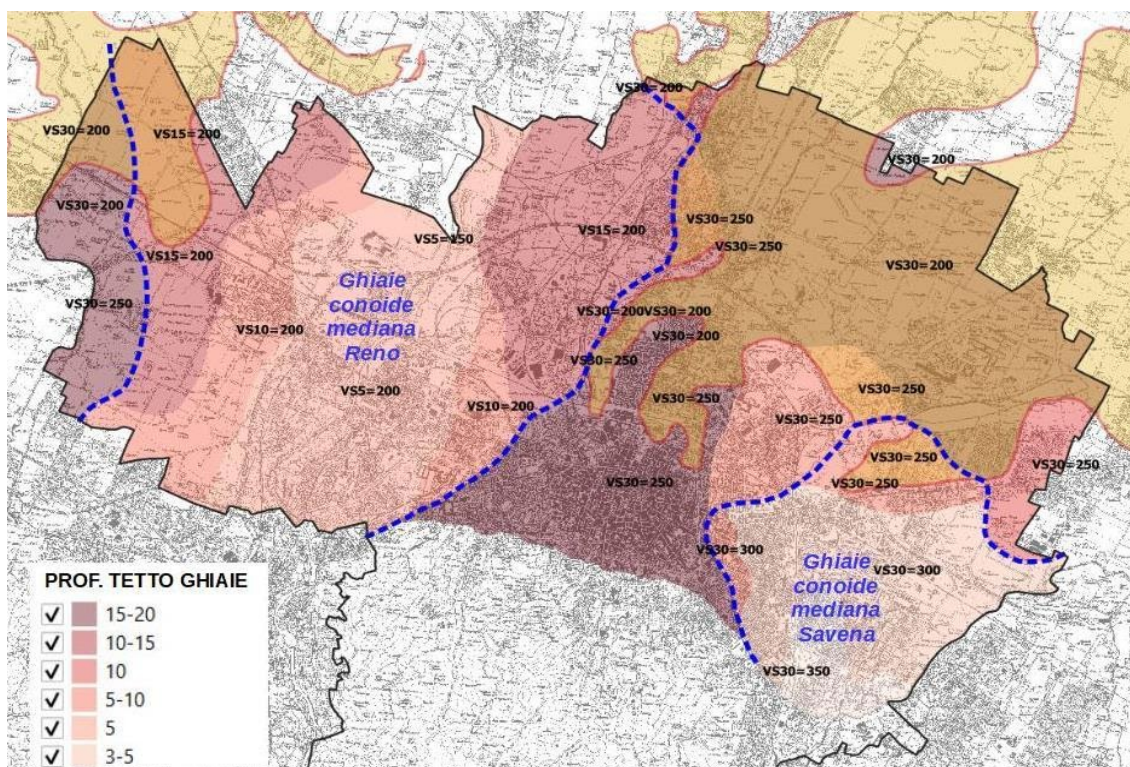


Figura 6.4. La figura propone lo schema delle MOPS ottenute per il settore di pianura e basate sulla profondità del tetto delle ghiaie meno profonde e sulla ricostruzione delle zone di potenziale liquefacibilità (in giallo). Si riportano le velocità equivalenti considerate.

Per quanto riguarda il settore collinare, nel paragrafo 5.2 vengono descritti i principali esiti desunti dalle indagini disponibili. Si rammenta che tali indagini hanno chiaramente evidenziato areali caratterizzati da coperture amplificabili (alluvionali e di versante) sovrastanti il substrato roccioso marino.

Le indagini disponibili nel settore collinare hanno riscontrato anche estesi areali caratterizzati da substrato roccioso affiorante/subaffiorante pelitico o arenitico poco cementato (CIG; TER; FAA; IMO) che risulta alterato per deformazioni di natura tettonica (vedi anche paragrafo 3.2), come confermano i modesti valori di Vs (Vs30 comprese tra poco meno di 250 m/s e 350 m/s). Per estesi areali di collina non è stato pertanto possibile attribuirli a “bedrock sismico affiorante” ma cautelativamente si sono considerati spessori di copertura fino a circa 30 metri, estrapolando a tali profondità le Vs equiparabili a un bedrock tuttavia da considerarsi “non rigido”.

Si sono inoltre evidenziati areali caratterizzati da substrato roccioso più competente (PAT e GES), tuttavia da considerarsi bedrock sismico “non rigido” (Vs30 fino a poco oltre 500 m/s). Per quanto riguarda i depositi evaporitici presenti nell'area di studio, occorre premettere che non si rilevano cavità sepolte particolarmente significative dal punto di vista della risposta sismica locale. Si sono tuttavia riscontrati spessori superficiali riconducibili a coperture alluvionali, detritiche e/o di disfacimento del substrato gessoso in grado di contribuire all'amplificazione del moto sismico al suolo.

La figura 6.5 rappresenta uno schema di sintesi della suddivisione del territorio di collina in base allo

spessore delle coperture maggiormente amplificabili e in base al substrato roccioso affiorante (caratterizzato da Vs30 approssimabili da 350 m/s a 500 m/s). La figura riporta anche le indagini geofisiche di riferimento per la modellazione sismostratigrafica.

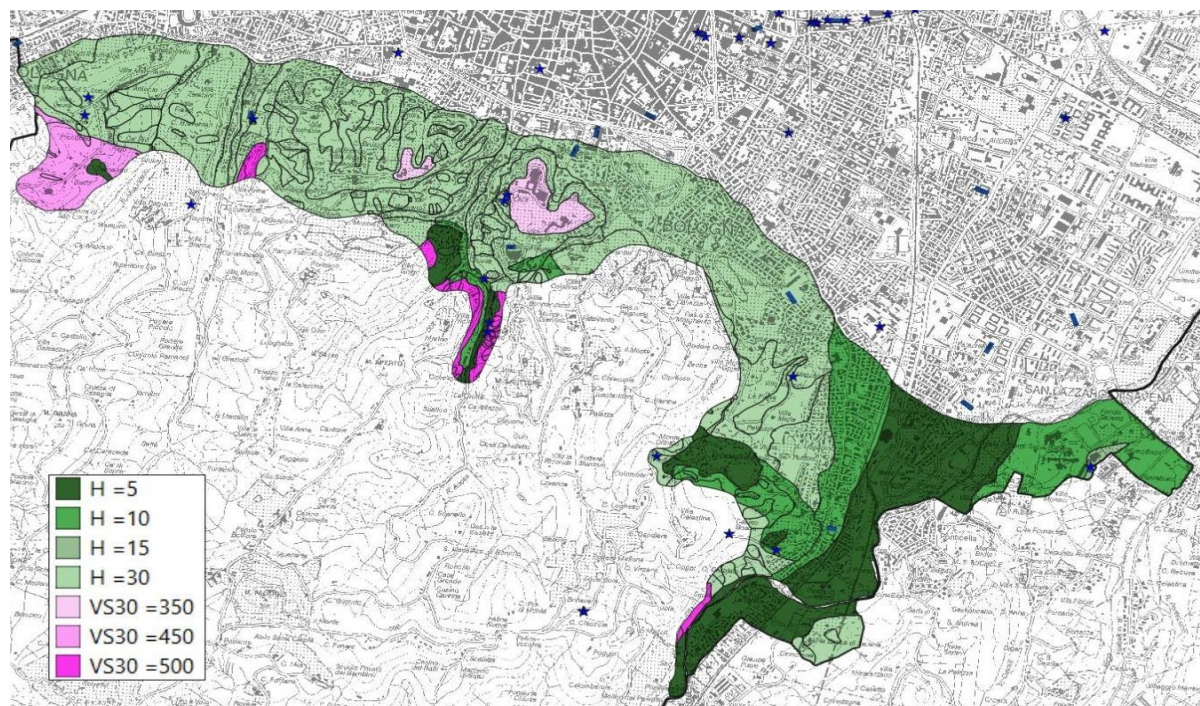


Figura 6.5 – Spessore delle coperture nel settore di collina e fondovalle (in tonalità di verde) e in base al substrato roccioso affiorante (in tonalità rosa). La figura riporta e indagini geofisiche di riferimento per la modellazione sismostratigrafica

Metodologie di elaborazione e risultati della ms

Cenni introduttivi

Il fine ultimo dello studio di microzonazione sismica di “livello 2” è quello di consentire una suddivisione del territorio indagato in:

1. zone “stabili”
2. zone “stabili suscettibili di amplificazione” → a loro volta suddivise in aree a diverso grado di amplificazione da quantificare con analisi semplificate (abachi)
3. zone “di attenzione” → a loro volta suddivise per tipologia di instabilità, con stima della pericolosità da ricavare in termini quantitativi (ulteriori analisi di livello 3)

Come riportato nelle note introduttive degli standard di MS (v.4.1), i risultati degli studi sono fondamentalmente riconducibili alla carta delle MOPS (microzone omogenee in prospettiva sismica) e alla cartografia di MS (microzonazione sismica).

Occorre rammentare che la carta delle MOPS è riferita unicamente al “livello 1” di approfondimento e perciò le zone individuate hanno approfondimenti esclusivamente di tipo qualitativo. La cartografia di MS può avere sia zone con approfondimenti di “livello 2”, sia zone con approfondimenti di “livello 3”.

Per il Comune di Bologna, lo studio sismico di livello 2 ha permesso di valutare i fattori di amplificazione sismica semplificata delle MOPS individuate per gli areali di studio. La stima dell'amplificazione si è basata sul modello di sottosuolo locale valutato per le aree studiate (cfr capitolo 5) in particolare considerando gli abachi predisposti dalla Regione Emilia-Romagna e riportati nella DGR 630/2019 (Allegato A2), riferiti a grandi situazioni morfologico-stratigrafiche che tengono conto delle caratteristiche litologiche e morfologiche e della profondità del bedrock sismico.

Si rammenta che la DGR 630/2019 ha determinato l'aggiornamento dei precedenti indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna (DAL 112/2007 e DGR2193/2015).

I paragrafi del presente capitolo illustrano i risultati dello studio e le metodologie di elaborazione utilizzate per determinare i diversi fattori di amplificazione sul territorio e per identificare le zone di attenzione per instabilità.

Sintesi illustrativa delle MOPS

La raccolta ed elaborazione dei dati disponibili ha consentito la suddivisione del territorio studiato in aree qualitativamente omogenee in prospettiva sismica (MOPS). Per il settore di pianura, la delimitazione delle MOPS ha tuttavia considerato, in relazione alle caratteristiche sismostratigrafiche locali, anche il contesto deposizionale caratteristico, in quanto può risultare strettamente connesso alla variabilità della risposta sismica e alla possibilità di innesco di altri fenomeni cosismici (es. liquefazioni), come già descritto nei capitoli precedenti. Per il settore collinare, la delimitazione delle MOPS ha tenuto in considerazione anche gli aspetti geomorfologici dell'areale stesso, anch'esse in grado di condizionare sia la risposta sismica, sia la complessiva stabilità di versante.

Nel territorio studiato non si riscontrano "zone stabili", tuttavia si sono distinte 29 zone stabili suscettibili di amplificazioni, compreso la parte di territorio caratterizzato da substrato affiorante molto alterato. Nello schema seguente sono riportate le descrizioni sintetiche delle MOPS così classificate. Come si può notare, per ciascuna microzona è riportato lo spessore delle coperture che è stato considerato nel calcolo dei fattori di amplificazione, comprensivo di un'eventuale porzione di bedrock alterato (per il settore di collina).

2099

Zona 99 – Substrato affiorante molto alterato, fratturato o detensionato.

2001

Zona 1 – Depositi alluvionali da limoso argilloso a limoso sabbiosi con intervalli sabbioso ghiaiosi discontinui poco consolidati (più frequenti a profondità >15/20 metri) e sovrastanti altri depositi alluvionali costituiti da alternanze di argille, limi, sabbie e ghiaie. Conoide distale Lavino (settore di "Margine di tipo B").

2002

Zona 2 – Depositi alluvionali da limoso argilloso a limoso sabbiosi con intervalli sabbioso ghiaiosi discontinui poco consolidati (più frequenti a profondità >10/15 metri) e sovrastanti altri depositi alluvionali costituiti da alternanze di argille, limi, sabbie e ghiaie. Conoide distale Reno (settore di "Margine di tipo B").

2003

Zona 3 – Depositi alluvionali da limoso argilloso a limoso sabbiosi con intervalli sabbioso ghiaiosi discontinui poco consolidati (più frequenti a profondità >15/20 metri) e sovrastanti altri depositi alluvionali costituiti da alternanze di argille, limi, sabbie e ghiaie. Conoide distale Savena (settore di "Margine di tipo B").

2004

Zona 4 – Depositi alluvionali da limoso argilloso a limoso sabbiosi con intervalli sabbioso ghiaiosi discontinui poco consolidati (più frequenti a profondità >10 metri) e sovrastanti altri depositi alluvionali costituiti da alternanze di argille, limi, sabbie e ghiaie. Conoide distale Savena (settore di "Margine di tipo B").

2005

Zona 5 – Depositi alluvionali limoso sabbiosi con frequenti intervalli sabbioso ghiaiosi discontinui poco consolidati a profondità >5/10 metri e sovrastanti altri depositi alluvionali costituiti da alternanze di argille, limi, sabbie e ghiaie. Conoide mediana Savena (settore di "Margine di tipo B").

2006

Zona 6 – Depositi alluvionali limoso sabbiosi con frequenti intervalli ghiaiosi discontinui poco consolidati a profondità >5/10 metri e sovrastanti altri depositi alluvionali prevalentemente costituiti da alternanze di limi, sabbie e ghiaie. Conoide mediana Savena (settore di "Margine di tipo B").

2007

Zona 7 – Depositi alluvionali limoso sabbiosi con diffusi intervalli ghiaioso sabbiosi poco consolidati a profondità >3/5 metri e sovrastanti altri depositi alluvionali prevalentemente costituiti da alternanze di limi, sabbie e ghiaie. Conoide mediana Savena (settore di "Margine di tipo B").

2008

Zona 8 – Depositi alluvionali superficiali prevalentemente sabbioso ghiaiosi e sovrastanti altri depositi alluvionali prevalentemente costituiti da alternanze di sabbie e ghiaie. Conoide mediana Savena.

2009

Zona 9 – Depositi alluvionali da limoso argilloso a limoso sabbiosi con intervalli ghiaioso sabbiosi discontinui poco consolidati nei primi 10/15 metri e sovrastanti ghiaie più consolidate alternate ad altri depositi alluvionali limosi e sabbiosi a comportamento più rigido. Conoide mediana Reno (settore di "Margine di tipo A").

2010

Zona 10 – Depositi alluvionali da limoso argilloso a limoso sabbiosi con intervalli ghiaioso sabbiosi discontinui poco consolidati nei primi 5/10 metri e sovrastanti ghiaie più consolidate alternate ad altri depositi alluvionali limosi e sabbiosi a comportamento più rigido. Conoide mediana Reno (settore di "Margine di tipo A").

2011

Zona 11 – Depositi alluvionali limoso sabbiosi con intervalli ghiaioso sabbiosi discontinui poco consolidati nei primi 5/7 metri e sovrastanti ghiaie più consolidate alternate ad altri depositi alluvionali prevalentemente costituiti da alternanze di sabbie e ghiaie a comportamento più rigido. Conoide mediana Reno (settore di "Margine di tipo A").

2012

Zona 12 – Depositi alluvionali da limoso argilloso a limoso sabbiosi con intervalli sabbioso ghiaiosi discontinui poco consolidati più frequenti a profondità >15/20 metri e sovrastanti altri depositi alluvionali costituiti da alternanze di argille, limi, sabbie e ghiaie. Interconoide Reno-Savena (settore di "Margine di tipo B").

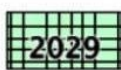
2013

Zona 13 – Coperture prevalentemente alluvionali da limoso sabbiose a ghiaiose e bedrock alterato sovrastanti bedrock marino non rigido <<800 m/s (IMO1). Spessore medio delle coperture 15 metri.

2014	Zona 14 – Coperture alluvionali da limoso sabbiose a ghiaiose e bedrock alterato sovrastanti bedrock marino non rigido <<800 m/s (IMO; TER; GES). Spessore medio coperture 10/12 metri. Piana di fondovalle terrazzata Savena.
2015	Zona 15 – Coperture alluvionali da limoso sabbiose a ghiaiose e bedrock alterato sovrastanti bedrock marino non rigido <<800 m/s (TER; GES; PAT). Spessore medio coperture 5/7 metri. Piana di fondovalle terrazzata Savena.
2016	Zona 16 – Coperture alluvionali da limoso sabbiose a ghiaiose con spessori di alterazione fino a 10 metri (suolo) e sovrastanti bedrock marino molto alterato <<800 m/s (IMO1).
2017	Zona 17 – Coperture alluvionali pedogenizzate (suolo) prevalentemente limoso sabbiose di limitato spessore e sovrastanti bedrock marino molto alterato <<800 m/s (IMO1).
2018	Zona 18 – Coperture alluvionali pedogenizzate (suolo) prevalentemente ghiaioso sabbiose, di limitato spessore e sovrastanti bedrock marino molto alterato <<800 m/s (IMO1). Organizzati in alcuni ordini di terrazzi.
2019	Zona 19 – Coperture alluvionali prevalentemente limoso sabbiose fino a 8/12 metri sovrastanti bedrock marino non rigido molto alterato <<800 m/s (IMO1; TER).
2020	Zona 20 – Coperture alluvionali da limoso sabbiose a ghiaiose e bedrock marino alterato sovrastanti bedrock marino non rigido <<800 m/s (PAT). Spessore medio coperture 8/12 metri.
2021	Zona 21 – Coperture alluvionali da limoso sabbiose a ghiaiose di limitato spessore e bedrock marino alterato sovrastanti bedrock marino non rigido <<800 m/s (PAT). Spessore medio coperture 5/7 metri.
2022	Zona 22 – Coperture eluvio-colluviali prevalentemente fini (clasti di roccia, sabbie, peliti) e bedrock alterato sovrastanti bedrock marino non rigido <<800 m/s (PAT). Spessore medio coperture 8/12 metri.
2023	Zona 23 – Coperture eluvio-colluviali prevalentemente fini (clasti di roccia, sabbie, peliti) e bedrock alterato sovrastanti bedrock marino non rigido (GES). Spessore medio coperture 8/12 metri (eluvium-colluvium+bedrock molto alterato). Settore di "APPENNINO con bedrock non rigido" <<800 m/s).

Nei seguenti schemi sono invece riportate le descrizioni relative alle zone di attenzione per instabilità. Queste ulteriori zone individuano le seguenti principali criticità correlabili ad eventi sismici:

- possibilità di liquefazioni in caso di sisma, per la presenza di intervalli granulari saturi nei primi 20 metri (zone differenziate in relazione ai differenti contesti litostratigrafici);
- possibilità di instabilità di versante. I movimenti franosi perimetrati sono classificati per meccanismi di movimento, indicando anche la presenza di accumulo o distacco e i principali depositi (coperture o substrato roccioso) coinvolti nel dissesto;
- possibilità di cedimenti differenziali/crollo/cavità/ sinkhole. In questa tipologia di instabilità vengono comprese anche le aree di cava e i tombamenti antropici.



2029

ZA_LQ 29 – Depositi alluvionali da limoso argilloso a limoso sabbiosi con intervalli sabbiosi saturi nei primi 5/15 metri (paleoalvei e tracimazioni Lavino). Intervalli sabbioso ghiaiosi discontinui poco consolidati più frequenti a profondità >15/20 metri e sovrastanti altri depositi alluvionali costituiti da alternanze di argille, limi, sabbie e ghiaie. Conoide distale Lavino.



2030

ZA_LQ 30 – Depositi alluvionali da limoso argilloso a limoso sabbiosi con intervalli sabbiosi saturi nei primi 5/15 metri (paleoalvei e tracimazioni Reno). Intervalli ghiaioso sabbiosi discontinui poco consolidati nei primi 10/15 metri e sovrastanti ghiaie più consolidate alternate ad altri depositi alluvionali a comportamento più rigido. Conoide mediana Reno.



2031

ZA_LQ 31 – Depositi alluvionali da limoso argilloso a limoso sabbiosi con intervalli sabbiosi saturi nei primi 5/15 metri (paleoalvei Aposa e/o Ravone?). Intervalli sabbioso ghiaiosi discontinui poco consolidati più frequenti a profondità >15/20 metri e sovrastanti altri depositi alluvionali costituiti da alternanze di argille, limi, sabbie e ghiaie. Interconoide Reno-Savena.



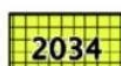
2032

ZA_LQ 32 – Depositi alluvionali da limoso argilloso a limoso sabbiosi con intervalli sabbiosi saturi di spessore anche significativo (>>1 metro) nei primi 5/15 metri (paleoalvei e tracimazioni Reno). Intervalli sabbioso ghiaiosi discontinui poco consolidati più frequenti a profondità >10/15 metri e sovrastanti altri depositi alluvionali costituiti da alternanze di argille, limi, sabbie e ghiaie. Conoide distale Reno.



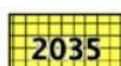
2033

ZA_LQ 33 – Depositi alluvionali da limoso argilloso a limoso sabbiosi con intervalli sabbiosi saturi nei primi 5/15 metri (paleoalvei e tracimazioni Savena). Intervalli ghiaioso sabbiosi discontinui poco consolidati più frequenti a profondità >15/20 metri e sovrastanti altri depositi alluvionali costituiti da alternanze di argille, limi, sabbie e ghiaie. Conoide distale Savena.



2034

ZA_LQ 34 – Depositi alluvionali limoso sabbiosi con intervalli sabbiosi saturi nei primi 5/15 metri (paleoalvei e tracimazioni Savena). Intervalli sabbioso ghiaiosi poco consolidati più frequenti a profondità >10 metri e sovrastanti altri depositi alluvionali costituiti da alternanze di argille, limi, sabbie e ghiaie. Conoide mediana Savena.



2035

ZA_LQ 35 – Depositi alluvionali limoso sabbiosi con intervalli sabbiosi saturi a profondità >5 metri (paleoalvei e tracimazioni Savena). Intervalli ghiaiosi discontinui poco consolidati più frequenti a profondità >10 metri e sovrastanti altri depositi alluvionali prevalentemente costituiti da alternanze di limi, sabbie e ghiaie. Conoide mediana Savena.



2036

ZA_FR 36 (3011) – Zona di prevalente distacco per crollo nel bedrock lapideo.



2037

ZA_FR 37 (3011) – Zona di prevalente accumulo per crollo derivato da bedrock lapideo.



2038

ZA_FR 38 (3012/3022) – Zona di prevalente distacco per frana di scorrimento nel bedrock pelitico.



2039

ZA_FR 39 (3012/3022) – Zona di prevalente distacco per frana di scorrimento nel bedrock lapideo.



2040

ZA_FR 40 (3012/3022) – Zona di prevalente accumulo per frana di scorrimento derivato da bedrock pelitico.



2041

ZA_FR 41 (3012/3022) – Zona di prevalente accumulo per frana di scorrimento derivato da bedrock lapideo.



2042

ZA_FR 42 (3013/3023) – Zona di prevalente distacco per colata nel bedrock pelitico.

2043	ZA_FR 43 (3023) – Zona di prevalente distacco per colata nel bedrock lapideo.
2044	ZA_FR 44 (3013/3023) – Zona di prevalente accumulo per colata derivato da bedrock pelitico.
2045	ZA_FR 45 (3023) – Zona di prevalente accumulo per colata derivato da bedrock lapideo.
2046	ZA_FR 46 (3014/3024) – Zona di prevalente accumulo per frana complessa derivato da bedrock pelitico.
2047	ZA_FR 47 (3045) – Zona di potenziale evoluzione di frana.
3080	ZA_CD – Zona di attenzione per cedimenti differenziali/crollo di cavità/sinkhole.

I fattori di amplificazione considerati per lo studio di MS

Per suddividere il territorio in base all'amplificazione attesa, in aree a maggiore e minore pericolosità, sono stati calcolati i fattori di amplificazione di ogni zona studiata. I fattori di amplificazione indicati nella DGR regionale n. 630/2019 sono calcolati per un tempo di ritorno dell'evento sismico pari a $T_r=475$ (con smorzamento $\zeta=5\%$) e si riferiscono a:

- FA PGA → rapporto tra la massima ampiezza dell'accelerazione ricavata alla superficie del deposito e ricavata sull'affioramento "rigido" (PGA/PGA_0). Il fattore di amplificazione dipende dalla frequenza di eccitazione armonica, dal fattore di smorzamento D e dal rapporto tra l'impedenza sismica, prodotto tra densità-velocità, della roccia base e quella del deposito;
- FA SA – Rapporto dell'intensità spettrale in accelerazione ricavata alla superficie del deposito e ricavata sull'affioramento "rigido". I fattori di amplificazione calcolati si riferiscono ai quattro seguenti intervalli di integrazione del periodo proprio T:
 - SA1 → 0,1s-0,5s [FA0105]
 - SA2 → 0,4s-0,8s [FA0408]
 - SA3 → 0,7s-1,1s [FA0411]
 - SA4 → 0,5s-1,5s [FA0515] solo per le aree di pianura/costa
- FA SI - Intensità spettrale di Housner → indicatore della pericolosità sismica, definito come l'area sottesa dello spettro di risposta di pseudovelocità per determinati periodi dello scuotimento. Nel nostro caso, si devono determinare i fattori di amplificazione per i tre seguenti intervalli di integrazione del periodo proprio T:
 - SI1 → 0,1s-0,5s [FH0105]
 - SI2 → 0,5s-1,0s [FH0510]
 - SI3 → 0,5s-1,5s [FH0515] solo per le aree di pianura/costa

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali: calcolo dei fattori di amplificazione

Il calcolo dei fattori di amplificazione ha interessato tutto il territorio comunale di pianura, mentre per il settore collinare ha interessato tutte le aree urbanizzate/urbanizzabili e un'ulteriore e opportuna fascia di territorio adiacente.

Per suddividere il territorio in base all'amplificazione attesa, in aree a maggiore e minore pericolosità, nello studio di microzonazione sismica di livello 2, i fattori di amplificazione vengono calcolati con

approccio semplificati mediante l'utilizzo di abachi. In tal senso, si sono utilizzati gli abachi di riferimento per gli studi di MS in Emilia-Romagna (DGR 630/2019), sulla base delle differenti caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo ritenute importanti dal punto di vista della risposta sismica locale (cfr. capitolo 5).

La seguente tabella 7.1 riporta la sintesi riepilogativa dei fattori di amplificazione (FA) riferibili alle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS). Si riportano il macrocontesto attribuibile a tale zona e i parametri (spessori; VSH; VS30) necessari per il calcolo dei FA. Per ulteriori dettagli sulle caratteristiche litostratigrafiche delle aree MOPS si rimanda a quanto indicato nella descrizione cartografica (paragrafo 8.4). Si precisa che per tutte le MOPS attribuite al macrocontesto "Appennino*" (Allegato A2 DGR 630/2019) si è considerato un substrato sismico "non rigido", come spiegato nei precedenti capitoli.

MOPS	MACRO CONTESTO	VS30 VSH	FA PGA	SA1	SA2	SA3	SA4	SI1	SI2	SI3	NOTE
2001	MARGINE B	VS30 =250	1,6	1,8	2,3	2,7	2,6	1,9	2,5	2,7	
		VS30 =200	1,6	1,8	2,6	2,9	2,9	1,9	2,8	3,1	
2002	MARGINE B	VS30 =250	1,6	1,8	2,3	2,7	2,6	1,9	2,5	2,7	
		VS30 =200	1,6	1,8	2,6	2,9	2,9	1,9	2,8	3,1	
2003	MARGINE B	VS30 =200	1,6	1,8	2,6	2,9	2,9	1,9	2,8	3,1	
2004	MARGINE B	VS30 =250	1,6	1,8	2,3	2,7	2,6	1,9	2,5	2,7	
2005	MARGINE B	VS30 =250	1,6	1,8	2,3	2,7	2,6	1,9	2,5	2,7	
2006	MARGINE B	VS30 =250	1,6	1,8	2,3	2,7	2,6	1,9	2,5	2,7	
2007	MARGINE B	VS30 =300	1,6	1,7	2,1	2,4	2,3	1,8	2,3	2,4	
2008	MARGINE B	VS30 =350	1,6	1,7	1,9	2,3	2,1	1,7	2,1	2,2	
2009	MARGINE A	VS15 =200	2,1	2,4	2,9	2,3	-	2,5	2,1	-	
2010	MARGINE A	VS10 =200	2,2	2,3	2,2	1,8	-	2,4	2	-	
2011	MARGINE A	VS5 =200	2,1	2,0	1,7	1,6	-	1,9	1,7	-	
		VS5 =150	2,3	2,3	1,9	1,6	-	2,2	1,8	-	
2012	MARGINE B	VS30 =250	1,6	1,8	2,3	2,7	2,6	1,9	2,5	2,7	
		VS30 =200	1,6	1,8	2,6	2,9	2,9	1,9	2,8	3,1	
2013	APPENNINO*	VS15 =200	2,2	2,5	2,3	1,7	-	2,6	1,9	-	
2014	APPENNINO*	VS10 =250	2,0	1,9	1,5	1,4	-	1,9	1,4	-	
2015	APPENNINO*	VS5 =200	2,0	1,8	1,4	1,3	-	1,7	1,4	-	
2016	APPENNINO*	VS30 =300	2,0	2,2	2,3	1,7	-	2,3	1,9	-	In limitate zone di scarpata sono stati calcolati ulteriori FA topografici (da 1,1 a 1,4)
2017	APPENNINO*	VS30 =300	2,0	2,2	2,3	1,7	-	2,3	1,9	-	

2018	APPENNINO*	VS30 =300	2,0	2,2	2,3	1,7	-	2,3	1,9	-	In limitate zone di scarpata sono stati calcolati ulteriori FA topografici (da 1,1 a 1,2)
2019	APPENNINO*	VS30 =300	2,0	2,2	2,3	1,7	-	2,3	1,9	-	
		VS30 =250	2,1	2,3	2,9	2,3	-	2,4	2,7	-	
2020	APPENNINO*	VS10 =200	2,2	2,3	1,8	1,5	-	2,3	1,6	-	
2021	APPENNINO*	VS5 =200	2,0	1,8	1,4	1,3	-	1,7	1,4	-	
2022	APPENNINO*	VS10 =200	2,2	2,3	1,8	1,5	-	2,3	1,6	-	
2023	APPENNINO*	VS10 =200	2,2	2,3	1,8	1,5	-	2,3	1,6	-	
2024	APPENNINO*	VS5 =200	2,0	1,8	1,4	1,3	-	1,7	1,4	-	
2025	APPENNINO*	VS5 =200	2,0	1,8	1,4	1,3	-	1,7	1,4	-	
2026	APPENNINO*	VS30 =300	2,0	2,2	2,3	1,7	-	2,3	1,9	-	
		VS30 =250	2,1	2,3	2,9	2,3	-	2,4	2,7	-	
2027	APPENNINO*	VS30 =350	1,9	1,9	1,7	1,4	-	1,9	1,5	-	In limitate zone di scarpata sono stati calcolati ulteriori FA topografici (da 1,1 a 1,2)
2028	APPENNINO*	VS30 =500	1,4	1,4	1,4	1,3	-	1,4	1,4	-	In limitate zone di scarpata e crinale sono stati calcolati
		vs30 =450	1,6	1,6	1,5	1,3	-	1,6	1,4	-	

											ulteriori topografici (da 1,1 a 1,2)	FA topografici (da 1,1 a 1,2)
2099	APPENNINO*	VS30 =300	2,0	2,2	2,3	1,7	-	2,3	1,9	-	In limitate zone di scarpata e crinale sono stati calcolati ulteriori topografici (da 1,1 a 1,2)	FA
		VS30 =250	2,1	2,3	2,9	2,3	-	2,4	2,7	-		

Tabella 7.1 – Calcolo dei fattori di amplificazione per le zone “stabili suscettibili di amplificazioni”

Zone di attenzione per instabilità: calcolo dei fattori di amplificazione

Il calcolo dei fattori di amplificazione ha interessato anche le aree perimetrare come “zone di attenzione per instabilità” per liquefazioni e per instabilità di versante, come indicato negli Standard di MS v. 4.1 (CTMS, 2018). Tuttavia, sono aree ove vengono richiesti ulteriori approfondimenti (livello 3). La seguente tabella 7.2 riporta il calcolo dei fattori di amplificazione attribuiti alle zone di attenzione per liquefazioni.

MOPS	MACRO CONTESTO	VS30 VSH	FA PGA	SA1	SA2	SA3	SA4	SI1	SI2	SI3	NOTE
2029	MARGINE B	VS30 =200	1,6	1,8	2,6	2,9	2,9	1,9	2,8	3,1	
2030	MARGINE A	VS15 =200	2,1	2,4	2,9	2,3	-	2,5	2,1	-	
2031	MARGINE B	VS30 =250	1,6	1,8	2,3	2,7	2,6	1,9	2,5	2,7	
		VS30 =200	1,6	1,8	2,6	2,9	2,9	1,9	2,8	3,1	
2032	MARGINE B	VS30 =250	1,6	1,8	2,3	2,7	2,6	1,9	2,5	2,7	
		VS30 =200	1,6	1,8	2,6	2,9	2,9	1,9	2,8	3,1	
2033	MARGINE B	VS30 =200	1,6	1,8	2,6	2,9	2,9	1,9	2,8	3,1	
2034	MARGINE B	VS30 =250	1,6	1,8	2,3	2,7	2,6	1,9	2,5	2,7	
2035	MARGINE B	VS30 =250	1,6	1,8	2,3	2,7	2,6	1,9	2,5	2,7	

Tabella 7.2 – Calcolo dei fattori di amplificazione per le zone “di attenzione per instabilità (liquefazioni)”

Le aree di attenzione per instabilità di versante sono desunte dalla cartografia geologica RER (superfici di frana già classificate), dall'Inventario del dissesto RER, dall'archivio del dissesto del Comune di Bologna (con zone di frana e zone potenzialmente instabili già soggette a norme e limitazioni d'uso come specificato nel regolamento edilizio comunale. Lo studio di MS ha dunque considerato sia le aree di dissesto (in gran parte coincidenti con l'inventario del dissesto del SGSS regionale), sia le zone di possibile evoluzione già perimetrate e oggetto di specifica normativa urbanistica comunale.

Sono state considerate come zone di attenzione per instabilità di versante tutte le coperture continentali, caratterizzate da acclività superiore a 15°.

Gli spessori delle coperture potenzialmente instabili sono desunti da indagini geognostiche disponibili in sito. Per il calcolo dei fattori di amplificazione relativi ai corpi di frana (che andranno tuttavia confermati con studi di approfondimento di livello 3), si è inoltre considerato il contesto litostratigrafico e sismico locale e stimata la profondità del piano di taglio/scivolamento della frana compatibilmente con lo spessore delle coperture e/o bedrock alterato. Più in generale, ma soprattutto nel caso di frane di modesta estensione oppure nelle zone di possibile evoluzione del dissesto, si è spesso considerato come intervallo maggiormente amplificabile la profondità delle eventuali coperture e/o il bedrock alterato del circostante versante stabile, visto che il piano di taglio dovrebbe verosimilmente interessare solamente tale spessore.

Effetti della topografia: calcolo dei fattori di amplificazione

Negli areali di collina, lo studio ha consentito il controllo degli effetti morfologici sulla stima della risposta sismica locale. Nei pendii con inclinazione media inferiore a 15° tale controllo è stato trascurato, mentre nei pendii più acclivi (<15°) e nelle particolari configurazioni geometriche bidimensionali e tridimensionali (es. cucuzzoli, creste, dorsali allungate) di altezza superiore a 30 metri il calcolo dei fattori di amplificazione topografica è stato eseguito secondo quanto indicato nelle DGR n. n. 2047/2018 e DGR n. 630/2019 (figura 7.1).

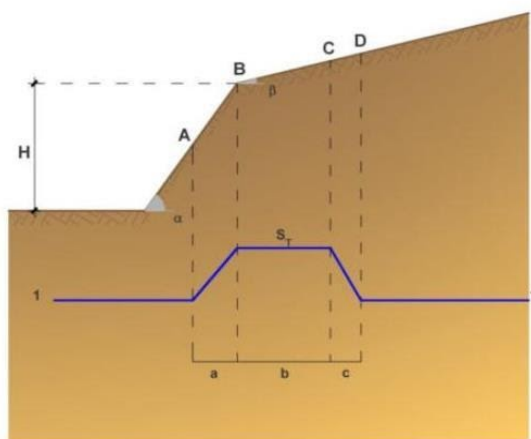


Figura 7.1 – Schema geometrico per il calcolo degli effetti della topografia (cfr. DGR 630/2019)

In base alla geometria descritta in figura 7.1, il valore del fattore di amplificazione topografica S_T è dato dalla seguente relazione:

$$S_T = 1 + 0,8 \cdot (\alpha - \beta - 0,4) \text{ sul segmento BC}$$

dove:

$b = \text{valore minimo tra } 20\alpha \text{ e } (H+10)/4$

α è il gradiente del fronte più ripido e β del fronte meno ripido.

ST=1 in A ($a=H/3$)

St=1 in D ($c=H/4$)

I rilievi che caratterizzano il territorio collinare Bolognese negli areali studiati, non presentano particolari elevazioni e scarpate ripide, per la prevalente presenza di substrato roccioso pelitico (CIG; TER; FAA) oppure arenaceo poco cementato (IMO), facilmente erodibile e modellabile. Sono tuttavia riscontrabili, alcuni limitati settori morfologicamente più elevati, con bedrock marino lapideo e più competente, attribuito alla Formazione di Pantano (affiorante, ad esempio, nei rilievi circostanti il Santuario di San Luca). Sono anche individuabili alcuni pianalti con scarpate di limitata estensione ma con acclività e dislivelli anche superiori a 30÷40 metri fino quasi a ridosso della pianura e sulle formazioni FAA e IMO (scarpate morfologiche di origine tettonica).

L'analisi delle possibili amplificazioni topografiche si è dunque basata sull'elaborazione di 21 sezioni topografiche, rappresentate nella figura 7.2, costruite in presenza di condizioni morfologiche da verificare. Le tracce sono state elaborate mediante software GIS e base topografica CTR regionale (scala 1:5.000).

Le verifiche hanno escluso amplificazioni soltanto nella sezione n.20 (comunque rappresentata nella figura 7.2 e riportata nell'allegato) mentre gli esiti ricavati sugli altri modelli morfologici hanno permesso di stimare amplificazioni topografiche comprese da 1,1 e 1,4. Gli esiti di amplificazione topografica maggiore sono prevalentemente riconducibili a situazioni morfologiche di crinale e cucuzzoli. Le figure 7.3-7.4-7.5 sintetizzano gli esiti di calcolo di ST e delle relative aree di influenza.

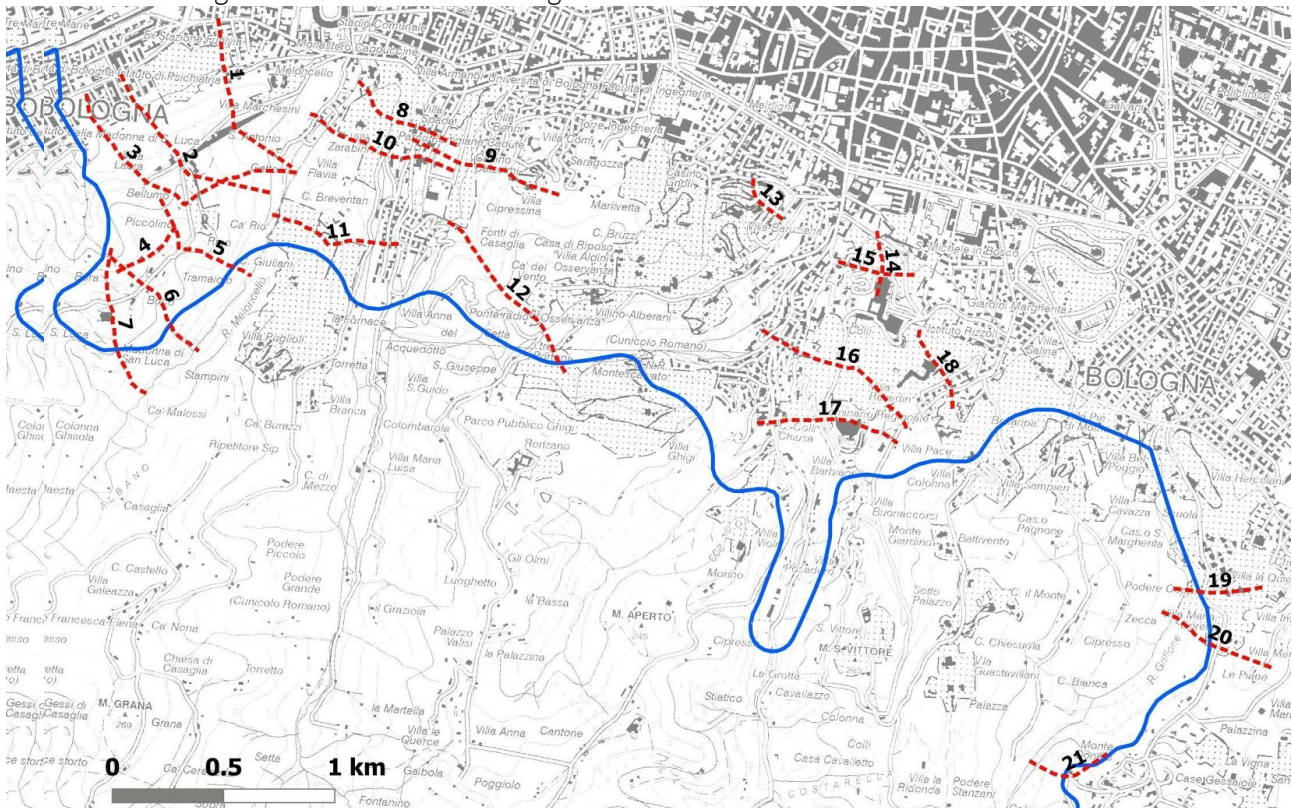


Figura 7.2 - Localizzazione delle sezioni topografiche elaborate per il controllo e calcolo dei fattori di amplificazione topografica ST

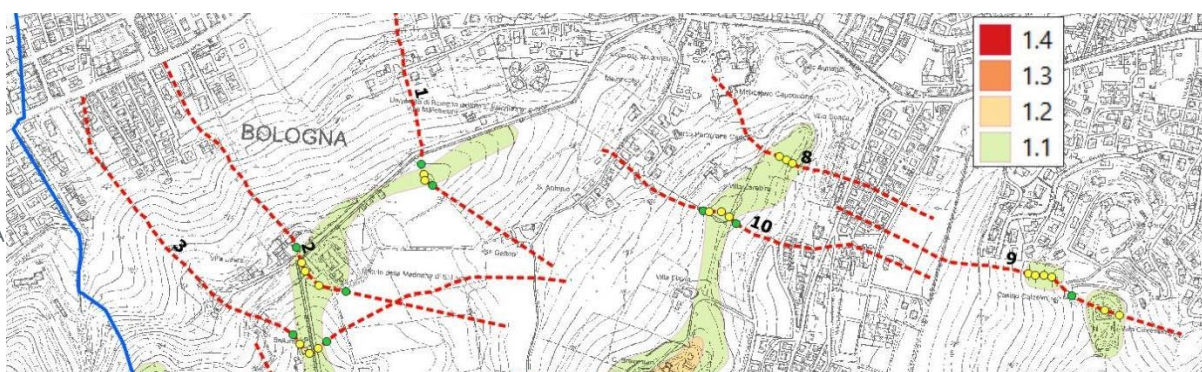


Figura 7.3 – Fattori di amplificazione ST e relative aree di influenza calcolate (punto) ed estrapolate (area). Settore collinare occidentale (Madonna di San Luca)

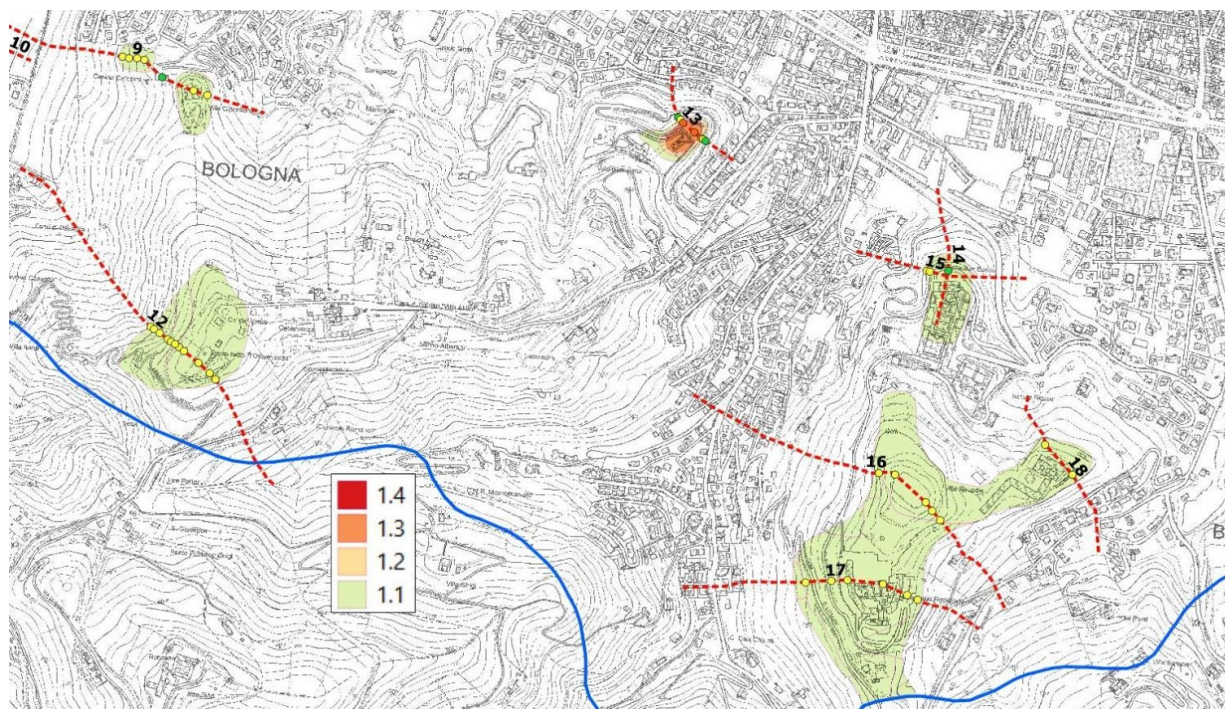


Figura 7.4 – Fattori di amplificazione ST e relative aree di influenza calcolate (punto) ed estrapolate (area). Settore collinare centrale (Seminario Regionale; San Michele in Bosco)

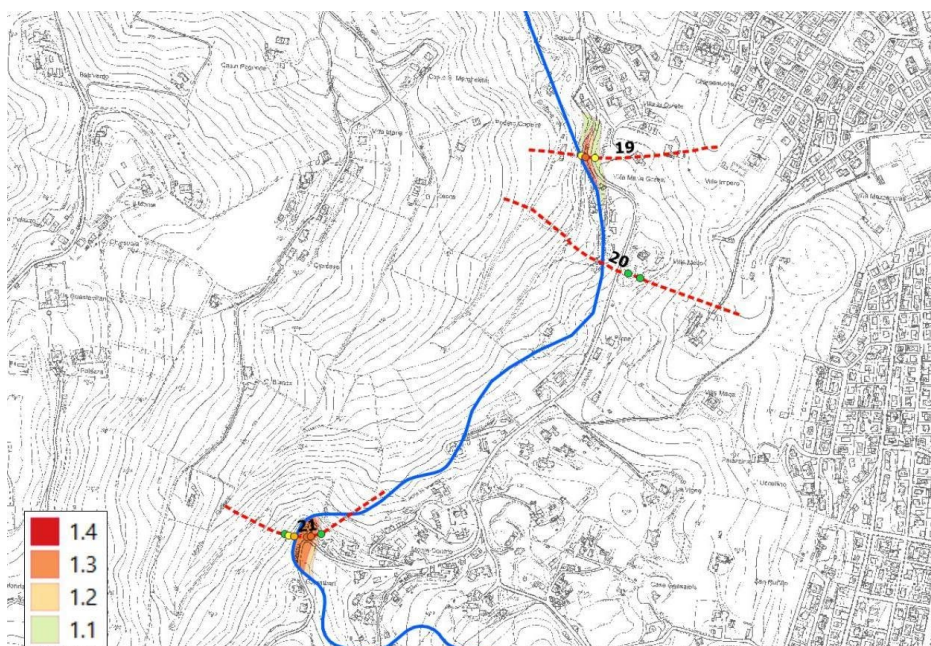


Figura 7.5 – Fattori di amplificazione ST e relative aree di influenza calcolate (punto) ed estrapolate (area). Settore collinare orientale (Monte Donato; via Siepelunga)

Nell'Allegato 2 si riportano le sezioni topografiche elaborate, con indicati gli esiti del calcolo del fattore di amplificazione ST più gravoso. Si precisa che le schede riferite ad ogni sezione riportano tra i parametri di calcolo l'inclinazione media dei versanti in gradi (sui quali vengono poi calcolati i rispettivi gradienti α e β). Occorre rammentare che, nei casi di crinale/cucuzzoli, l'angolo del fronte secondario e il relativo gradiente β risulta negativo.

Elaborazione dei valori di H_{SM}

Lo studio ha consentito di calcolare i valori di HSM (Naso et al., 2019), parametro che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASIUHS), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato per l'intervallo di periodi $0,1s \leq T \leq 0,5s$, diviso per ΔT (in questo caso pari a $0,4s$) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodi:

$$HSM = (ASIUHS/\Delta T) * FA$$

I valori di $ASIUHS/\Delta T$ sono stati calcolati per ogni punto della griglia INGV (già disponibili nella pagina web dedicata agli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica a cura del SGSS).

Le elaborazioni evidenziano valori tendenzialmente più alti nel settore collinare caratterizzato da coperture sovrastanti il substrato roccioso oppure in areali con bedrock "non rigido" molto alterato (risultati equiparabili a coperture profonde fino a 30 metri), cioè con un contributo importante all'esito di HSM indotto da fattori di amplificazione più elevati.

Un'ampia porzione della pianura occidentale, corrispondente al contesto deposizionale di conoide del Reno, è tuttavia caratterizzato da valori di HSM ancora alti, anche in questo caso imputabili alle maggiori amplificazioni stratigrafiche stimate in questo settore di territorio.

Elaborati cartografici

Carta delle Indagini

Gli studi di microzonazione sismica hanno consentito di riordinare e selezionare le conoscenze di sottosuolo pregresse, fondate sugli esiti delle indagini geognostiche e geofisiche di repertorio e sugli esiti delle prove integrative. Si tratta, complessivamente, di oltre 4.000 prove archiviate.

In questo senso, la "Carta delle Indagini", realizzata alla scala 1:10.000, permette la visione di insieme delle localizzazioni delle prospezioni geologiche e geofisiche realizzate nel territorio comunale di Bologna, raccolte e archiviate in formato digitale per il presente studio.

La cartografia identifica il tipo di prova con la simbologia riportata negli <<Standard di rappresentazione e archiviazione informatica>> CTMS (v.4.1), distinguendo la tipologia delle prove e indicando il sito oggetto delle indagini.

Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica

La **Carta geologico-tecnica**, elaborata alla scala 1:10.000, ha lo scopo di fornire ulteriori elementi per la definizione del modello di sottosuolo meno profondo, necessario per lo studio di microzonazione sismica. Tuttavia, nella pianura, si distingue nei contenuti dalla classica carta geologica e/o litologica.

In particolare, la cartografia geologico-tecnica ha suddiviso il territorio studiato sulla base del controllo dei dati tessiturali desunti dalle stratigrafie dei sondaggi a carotaggio continuo (analisi tessiturali; classificazione dei campioni prelevati) e dalle prove penetrometriche, disponendo anche di dati numerici. L'elaborazione di questa cartografia è basata sul criterio delle classi tessiturali definite secondo gli "standard di microzonazione sismica" (v.4.1);

La carta geologico tecnica riporta le litologie superficiali prevalenti (primi 5-6 metri). Nel settore collinate con substrato affiorante, la classificazione geotecnica ha invece considerato le principali caratteristiche del bedrock già riportate nel data base della cartografia geologica regionale.




Il territorio di studio è stato suddiviso nelle classi USCS/AGI riportate in figura 8.1.

In sintesi, si può evidenziare come nel settore di pianura i terreni più superficiali siano attribuibili a classi tessiturali da ghiaioso sabbiose a prevalentemente fini (limi e argille) in relazione al contesto deposizionale più recente (da depositi di conoide attribuibili al Reno e al Savena a depositi di piana e/o di interbacino). Nel settore pedecollinare, la cartografia riporta ampie aree con substrato affiorante/subaffiorante da pelitico ad arenaceo poco cementato (formazioni CIG, TER, FAA, IMO) che risulta detensionato e/o fratturato per deformazioni legate ad attività tettoniche relativamente recenti (si rimanda ai capitoli 3 e 5 per i dettagli).

La cartografia geologico-tecnica inoltre riporta:

- “forme di superficie” (creste; orli di terrazzo e scarpate; conoidi alluvionali; aree con cavità sepolte/doline/sinkhole; cavità sepolte puntuali; assi di paleoalvei);
- aree di instabilità di versante;
- forme di superficie e sepolte (faglie certe e incerte);
- elementi geologici e idrogeologici (giaciture strati; sondaggi/pozzi; punti controllo falda in aree con sabbie);
- le tracce delle sezioni geologiche di riferimento per questo lavoro.

Terreni di copertura e substrato geologico

 RI	Terreni contenenti resti di attività antropica	 SM	Sabbie limose, miscela di sabbia e limo – terrazzo fluviale (tf) e piana inondabile (pi)
 GW	Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia – argine/barre/canali (es)	 ML	Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità – piana inondabile (pi)
 GM	Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo – argine/barre/canali (es) e terrazzo fluviale (tf)	 CL	Argille e argille limose più o meno consistenti – eluvi/colluvi (ec)
 GC	Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla – argine/barre/canali (es), conoide alluvionale (ca)		
 LP	Lapideo	 ALS	Alternanza di litotipi stratificato
 LPS	Lapideo stratificato	 SFCO	Coesivo sovraconsolidato fratturato o detensionato
 GRS	Granulare cementato stratificato	 SFGRS	Granulare cementato stratificato fratturato o detensionato
 COS	Coesivo sovraconsolidato stratificato	 SFCOS	Coesivo sovraconsolidato stratificato fratturato o detensionato

Carta delle frequenze naturali dei terreni

La <<Carta delle frequenze naturali dei terreni>>, elaborata alla scala 1:10.000, riporta la suddivisione del territorio comunale in aree per classi di frequenza, secondo quanto richiesto nell'Allegato C della Delibera 1227/2015 della Regione Emilia-Romagna: $f_0 \leq 1$ Hz, $1 < f_0 \leq 2$ Hz, $2 < f_0 \leq 8$ Hz, $f_0 > 8$ Hz.

Lo studio di microzonazione ha dunque permesso di proporre una classificazione delle frequenze di possibile amplificazione/risonanza distinguendo le seguenti classi con colori differenti.

La tavola permette di discriminare le misure anche in base all'entità del rapporto spettrale H/V riferito a contrasti di impedenza alla base delle coperture, in particolare discriminando le prove che hanno ricavato rapporti: $H/V < 2$ (ampiezze basse); $2 \leq H/V < 3$ (ampiezze moderate); $H/V \leq 3$ (ampiezze elevate).

I dati acquisiti attraverso l'estesa campagna di misure di microtremore realizzata a supporto del presente studio, correlati coi dati geognostici disponibili, hanno permesso di individuare zone in cui gli spessori delle coperture continentali e/o del substrato roccioso marino alterato sono significativi per la risposta sismica locale, di definire la profondità del tetto di quello che può essere definito in alcuni casi il substrato rigido e di individuare quindi le caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo importanti dal punto di vista dell'influenza sul moto sismico in superficie, per la definizione dei fattori di amplificazione.

Si rimanda al capitolo 5 per un'illustrazione più dettagliata dei risultati ottenuti dalle registrazioni sismiche HVSR. Tuttavia si segnala nuovamente come in alcuni settori di pianura (es. conoide Reno con ghiaie più consolidate) e collinari (es. aree con coperture quaternarie sovrastanti bedrock marino più rigido – PAT; GES), le registrazioni disponibili abbiano evidenziato amplificazioni spettrali più marcate a frequenze medio-alte ($f_0 > 2$ Hz).

Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica MOPS

La cartografia MOPS, elaborata a diversa scala di dettaglio (1:10.000 per la pianura e 1:5.000 per la collina), rappresenta la suddivisione del territorio dei comuni in "Zone stabili", "Zone suscettibili di amplificazioni locali" e "Zone di attenzione per instabilità". Tale carta rappresenta l'elaborato fondamentale della microzonazione sismica di livello 1.

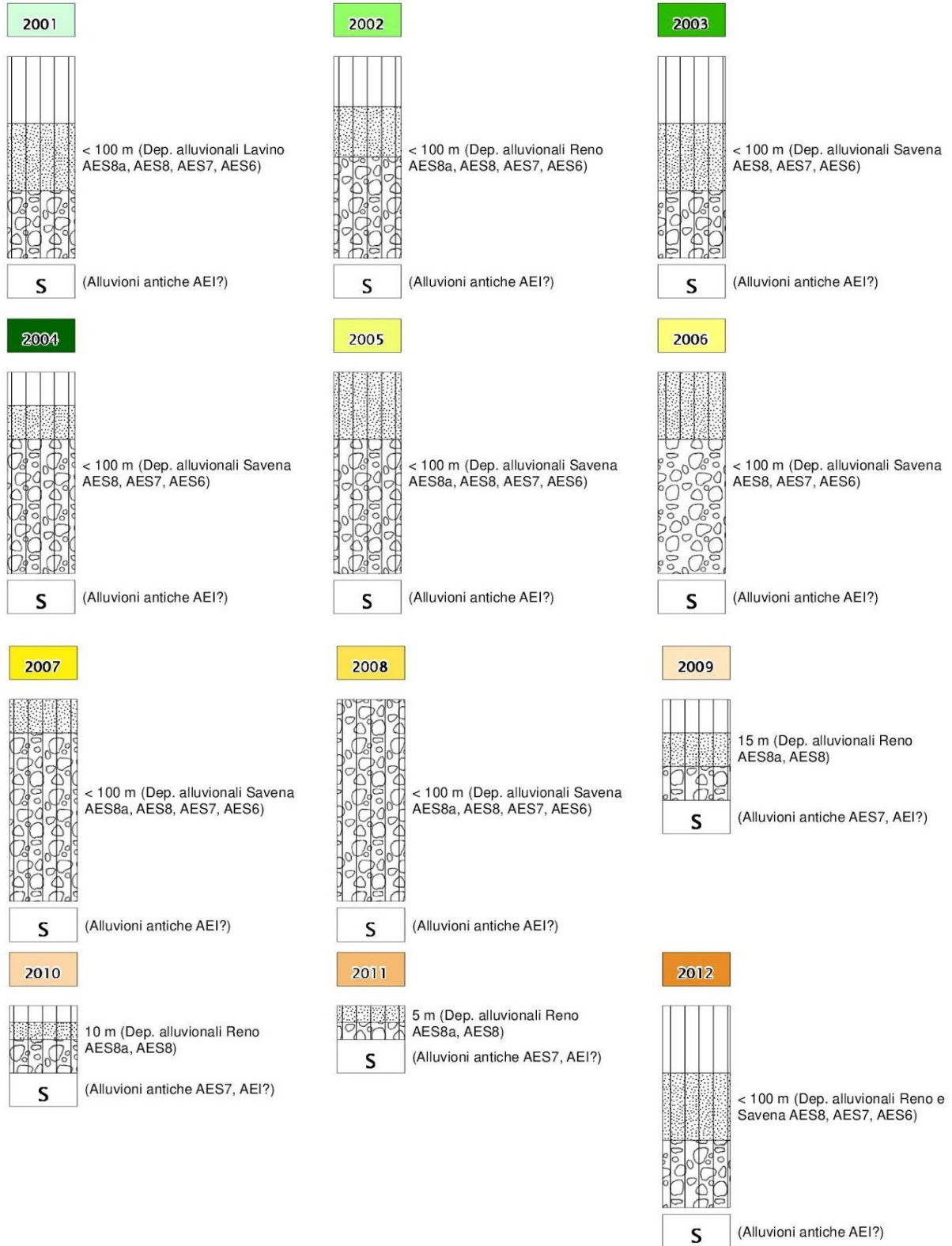
La carta riporta, inoltre, le "forme di superficie e sepolte" (già presenti nella carta geologico-tecnica), i punti di misura di rumore ambientale (con l'indicazione della frequenza fondamentale) e le tracce delle sezioni topografiche realizzate per determinare i fattori di amplificazione "ft".

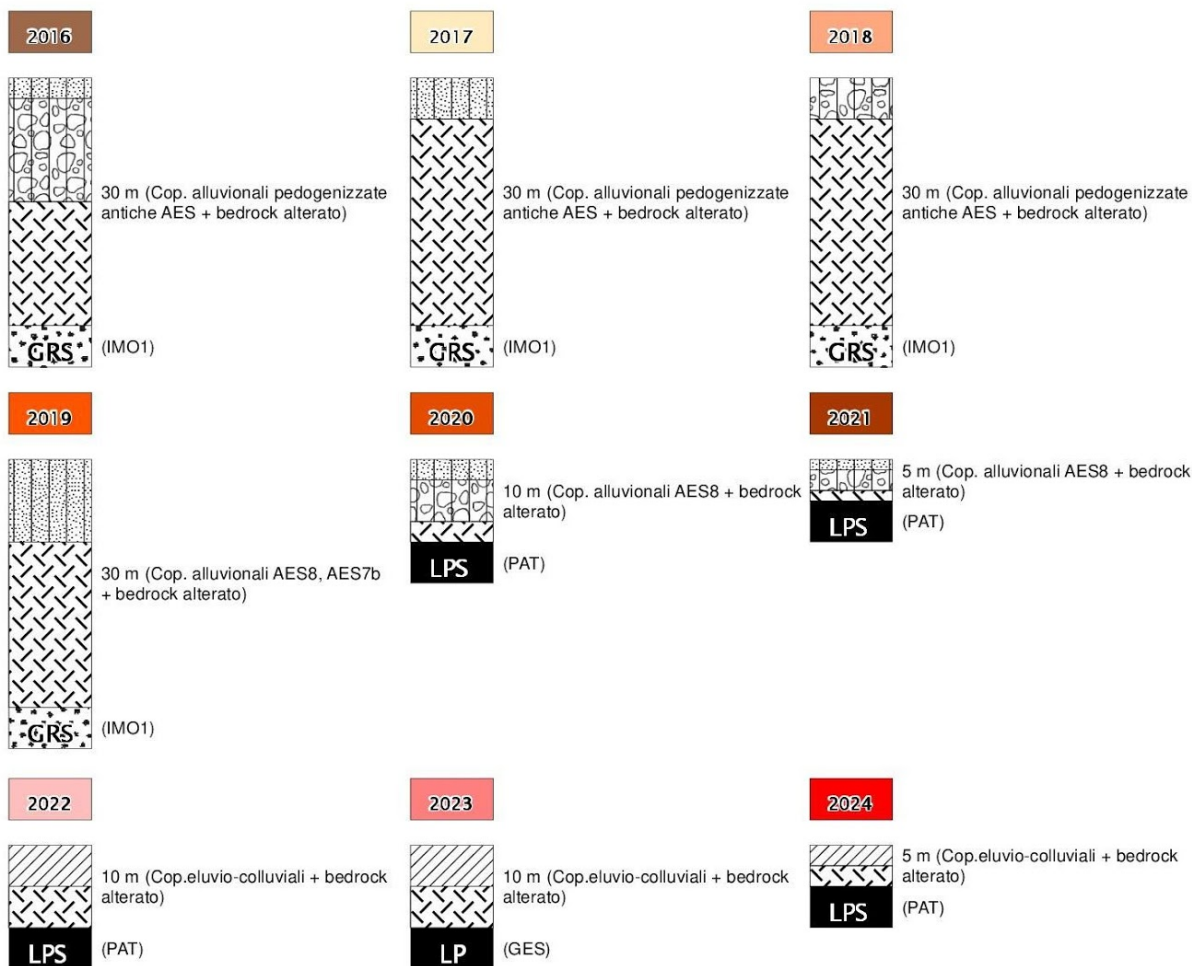
Rispetto alle diverse litologie (superficiali) distinte nella carta geologico-tecnica, estendendo la valutazione a profondità maggiore, si è cercato di arrivare a delle semplificazioni, accorpando alcune stratigrafie analoghe e cercando di utilizzare un criterio di similarità dal punto di vista della possibile risposta sismica e delle criticità locali.

Sulla base delle caratteristiche della successione litostratigrafica, nel territorio studiato non si riscontrano "zone stabili", tuttavia sono distinte 29 zone stabili suscettibili di amplificazioni (compreso anche il substrato affiorante molto alterato).

Per ciascuna classe, in legenda viene indicato lo spessore delle coperture che è stato considerato nel calcolo dei fattori di amplificazione, comprensivo di un'eventuale porzione di bedrock alterato (per il settore di collina).

Il seguente schema riporta per le medesime zone i rispettivi rapporti stratigrafici rappresentativi.





Le zone di attenzione per instabilità individuano le principali criticità correlabili ad eventi sismici (possibilità di liquefazioni; possibilità di instabilità di versante; possibilità di cedimenti differenziali/crollo/cavità/ sinkhole). In questa tipologia di instabilità vengono comprese anche le aree di cava e i tombamenti antropici.

Il seguente schema riporta per le zone di attenzione individuate i rispettivi rapporti stratigrafici rappresentativi.

Per una descrizione sintetica di tutte le singole zone di rimanda al precedente paragrafo 7.2.

2029

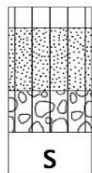


< 100 m (Dep. alluvionali liquefacibili Lavino AES8a, AES8, AES7, AES6)

S

(Alluvioni antiche AEI?)

2030

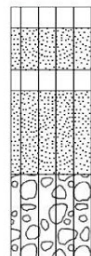


15 m (Dep. alluvionali liquefacibili Reno AES8a, AES8)

S

(Alluvioni antiche AES7, AEI?)

2031

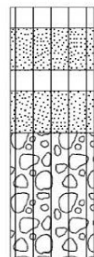


< 100 m (Dep. alluvionali liquefacibili Aposa e Ravone AES8 e dep. alluvionali Reno e Savena AES7, AES6)

S

(Alluvioni antiche AEI?)

2032

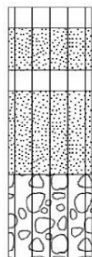


< 100 m (Dep. alluvionali liquefacibili Reno AES8a, AES8, AES7, AES6)

S

(Alluvioni antiche AEI?)

2033



< 100 m (Dep. alluvionali liquefacibili Savena AES8, AES7, AES6)

S

(Alluvioni antiche AEI?)

2034

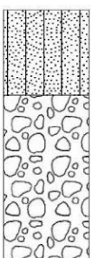


< 100 m (Dep. alluvionali liquefacibili Savena AES8a, AES8, AES7, AES6)

S

(Alluvioni antiche AEI?)

2035



< 100 m (Dep. alluvionali liquefacibili Savena, AES8, AES7, AES6)

S

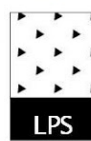
(Alluvioni antiche AEI?)

2036



Zona di prevalente distacco per crollo nel bedrock lapideo (3011)

2037



Zona di prevalente accumulo per crollo derivato da bedrock lapideo (3011)

2038



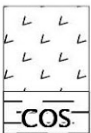
Zona di prevalente distacco per frana di scorrimento nel bedrock pelitico (3012/3022)

2039



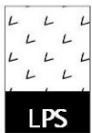
Zona di prevalente distacco per frana di scorrimento nel bedrock lapideo (3012/3022)

2040



Zona di prevalente accumulo per frana di scorrimento derivato da bedrock pelitico (3012/3022)

2041



Zona di prevalente accumulo per frana di scorrimento derivato da bedrock lapideo (3012/3022)

2042



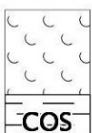
Zona di prevalente distacco per colata nel bedrock pelitico (3023)

2043



Zona di prevalente distacco per colata nel bedrock lapideo (3023)

2044



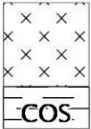
Zona di prevalente accumulo per colata derivato da bedrock pelitico (3013/3023)

2045



Zona di prevalente accumulo per colata derivato da bedrock lapideo (3023)

2046



Zona di prevalente accumulo per frana complessa derivato da bedrock pelitico (3014/3024)

2047



Zona di potenziale evoluzione di frana (3045)

Carta delle velocità delle onde di taglio S

La <<Carta delle velocità delle onde di taglio S>>, elaborata alla scala 1:10.000, localizza tutti i punti di misura di V_s , con indicazione, per ogni punto di controllo, del valore della media armonica nei primi 30 metri della velocità delle onde sismiche di taglio (V_{s30}). Nelle situazioni di sottosuolo caratterizzate da coperture di minore spessore e in grado di condizionare il campo di moto verso la superficie, si sono riportati anche i valori di V_{sH} . Tale parametro risulta di fondamentale importanza per la caratterizzazione della risposta sismica locale, sia valutata con approccio semplificato (DGR 2047/2018; DGR 630/2019; criteri nazionali ICMS 2008), sia da valutare con modellazioni numeriche.

Si segnala che il calcolo della V_{sH} ha interessato ampi settori del territorio collinare, per la presenza di coperture quaternarie sovrastanti il substrato marino più rigido oppure per la presenza di substrato roccioso molto alterato e/o detensionato e con V_s tali da non considerarsi bedrock sismico fino a 30 metri di profondità. Anche in alcuni settori di pianura (conoide Reno) gli esiti sismostratigrafici hanno condotto al calcolo di valori di V_{sH} (vedi capitoli 5 e 6).

Informazioni relative alle tipologie d'indagine e agli esiti delle V_s misurate nelle aree di approfondimento, sono riportate nei precedenti capitoli a cui si rimanda per eventuali approfondimenti.

Carta di microzonazione sismica livello 2

Le cartografie <<carta di microzonazione sismica livello 2>> sono anch'esse elaborate a diversa scala di dettaglio (1:10.000 per la pianura e 1:5.000 per la collina) e riportano le “zone stabili suscettibili di amplificazioni” e le “zone di attenzione” riscontrate nel territorio studiato di Bologna che derivano dalla cartografia MOPS (Tavola 4).

Rappresentano gli elaborati finali di sintesi del presente studio di microzonazione sismica in quanto riportano per ogni zona i fattori di amplificazione calcolati. In questo senso è necessario specificare che:

1. alle “zone stabili suscettibili di amplificazioni” vengono attribuiti i parametri di amplificazione considerati (FA Pga; FA SA; FA SI) attraverso la suddivisione del territorio studiato in classi di amplificazione, come previsto dagli Indirizzi della CTMS e come indicato negli Standard di rappresentazione per la microzonazione sismica (v. 4.1). Si rammenta che agli areali studiati i fattori di amplificazione sono attribuiti sulla base degli abachi regionali (cfr. DGR 630/2019, allegato A2).
2. Per le “zone di attenzione” per instabilità” vengono attribuiti i parametri di amplificazione considerati (FA Pga; FA SA; FA SI) sono attribuiti sulla base degli abachi regionali (cfr. capitolo 7) e considerando il contesto litostratigrafico e sismico locale. La stima dello spessore di sedimento rimaneggiato e maggiormente amplificabile è compatibile con la presunta profondità del piano di taglio/scivolamento della frana.

La grafica standard (colore pieno) consente di attribuire alle zone di attenzione i rispettivi parametri di amplificazione.

In sintesi, sono state elaborate le seguenti quattro cartografie di microzonazione sismica:

- **Tavola di microzonazione sismica di livello 2 - FA_{PGA}** → riporta il fattore di amplificazione FA PGA (rapporto tra le massime ampiezze dell'accelerazione orizzontale in superficie e al bedrock sismico (PGA/PGA0));
- **Tavola di microzonazione sismica di livello 2 FASA1** → riporta il fattore di amplificazione FA SA (rapporto di Intensità di spettrale in accelerazione in superficie e al bedrock sismico per periodo compreso tra 0,1 e 0,5 secondi);
- **Tavola di microzonazione sismica di livello 2 FASA2** → riporta il fattore di amplificazione FA SA (rapporto di Intensità di spettrale in accelerazione in superficie e al bedrock sismico per periodo compreso tra 0,4 e 0,8 secondi);

- **Tavola di microzonazione sismica di livello 2 FASA3** → riporta il fattore di amplificazione FA SA (rapporto di Intensità di spettrale in accelerazione in superficie e al bedrock sismico per periodo compreso tra 0,7 e 1,1 secondi);
- **Tavola di microzonazione sismica di livello 2 FASA4** → riporta il fattore di amplificazione FA SA (rapporto di Intensità di spettrale in accelerazione in superficie e al bedrock sismico per periodo compreso tra 0,5 e 1,5 secondi) solo per il contesto di pianura.
- **Tavola di microzonazione sismica di livello 2 FASI1** → riporta il fattore di amplificazione FA SI (rapporto di Intensità di Housner in superficie e al bedrock sismico per periodo compreso tra 0,1 e 0,5 secondi);
- **Tavola di microzonazione sismica di livello 2 FASI2** → riporta il fattore di amplificazione FA SI (rapporto di Intensità di Housner in superficie e al bedrock sismico per periodo compreso tra 0,5 e 1,0 secondi);
- **Tavola di microzonazione sismica di livello 2 FASI3** → riporta il fattore di amplificazione FA SI (rapporto di Intensità di Housner in superficie e al bedrock sismico per periodo compreso tra 0,5 e 1,5 secondi) solo per il contesto di pianura;

Carta della distribuzione dei valori di H_{SM}

Le mappe di pericolosità sismica denominate <<Carta della distribuzione dei valori di HSM>> sono anch'esse elaborate a diversa scala di dettaglio (1:10.000 per la pianura e 1:5.000 per la collina) e riportano i valori di HSM (Naso et al., 2019) per gli areali interessati dalla microzonazione sismica.

Si rammenta che il valore di HSM rappresenta un parametro di pericolosità che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in cm/s²) come riportato nel paragrafo 7.3.

Bibliografia

AA.VV. (2005) - Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation. Deliverable D23.12 of the SESAME project, 62 pp, April 2005. Available at <http://www.SESAME-FP5.obs.ujf-grenoble.fr>.

AA.VV. (2011) - Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica". Supplemento alla rivista Ingegneria Sismica Anno XXVIII - n.2.

Albarelo D. e Castellaro S. (2011) - Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola. In AA.VV. (2011) - Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica". Supplemento alla rivista Ingegneria Sismica Anno XXVIII - n.2.

Boccaletti M., Bonini M., Corti G., Gasperini P., Martelli L., Piccardi L., Severi P. e Vannucci G. (2004) – Carta sismotettonica della regione Emilia-Romagna; Note illustrative. A cura di : Boccaletti M. e Martelli L., Servizio geologico sismico e dei suoli.

Boulanger R. W. e Idriss I. M. (2004) - *Semi-empirical procedures for evaluating liquefaction potential during earthquakes*. Proc., 11th International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering, and 3rd International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, D. Doolin et al., ed Stallion Press, Vol. 1, 32-56.

Boulanger R. W. e Idriss I. M. (2007) – *Evaluation of cyclic softening in silts and clays*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 133(6): 641-52.

Castellaro S., Mulargia F. e Bianconi L. (2005) - Passive Seismic Stratigraphy: A new efficient, fast and economic technique. *Geologia e tecnica ambientale*, 3.

Castellaro S. e Mulargia F. (2011) - Seismic soil classification from a different perspective. Annual meeting of the Seismological Society of America, Memphis (Tennessee, USA), Apr. 13-15.

Castellaro S. (2012) - H/V: un contributo oltre Vs30. In "Tecniche speditive per la stima dell'amplificazione sismica e della dinamica degli edifici" a cura di Mucciarelli M.

Cerrina Feroni A., Martelli L., Martinelli P. & Ottria G. (2002) - Carta geologico-strutturale dell'Appennino emiliano-romagnolo in scala 1:250.000. Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, sismico e dei Suoli – CNR, Istituto di Georisorse e Geoscienze, Pisa. S.EL.CA., Firenze.

Commissione tecnica per la microzonazione sismica (2018) - Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica versione 4.1.

Comune di Bologna – Quadro Conoscitivo PSC – Il sistema naturale e ambientale – Relazione Tecnica (a cura del geol. A. Fiori, 2008)

Crespellani, Nardi, Simoncini (1991) – *La liquefazione del terreno in condizioni sismiche*. Zanichelli, Bologna.

DISS Working Group (2015) - Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, ©INGV2015 - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; DOI:10.6092/INGV.IT-DISS3.2.0.

Elmi, Zecchi (1982) – *Note sulla sismicità dell'appennino emiliano-romagnolo*. In Guida alla geologia del margine appenninico-padano. *Società Geologica Italiana – Guide Geologiche regionali*, Bologna.

Facciorusso, J., Madiari C., Vannucchi G., Martelli, L. (2012). *Analisi di dettaglio finalizzata alla valutazione della pericolosità di liquefazione: il caso della costa adriatica romagnola*. In: "La microzonazione sismica per la gestione del territorio. L'esperienza della regione Emilia-Romagna". Regione Emilia-Romagna Eds.

Facciorusso, J., Madiari C., Vannucchi G., (2013). *Confronto tra metodi semplificati di stima del rischio di liquefazione da prove CPT e CPTU*. Università degli Studi di Firenze – Facoltà di Ingegneria – Sezione geotecnica.

Galli P., Castenetto S., Peronace E. (2012) – *Terremoti dell'Emilia – maggio 2012 – Rilievo Macrosismico MCS speditivo – Rapporto finale*. Dipartimento della Protezione Civile – Ufficio Rischio Sismico e Vulcanico.

Galli, Meloni, Rossi (1999) - *Historical liquefaction in Italy: relationship between epicentral distance and seismic parameters*. European Geophysical Society XXVIII General Assembly Natural Hazards NH3, The Hague, Netherlands.

Gruppo di lavoro MS (2008) – *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica*. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome – Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e Dvd. Disponibili nel sito web del Dipartimento della Protezione Civile, area "Rischio Sismico" all'indirizzo: http://www.protezionecivile.it/cms/view.php?dir_pk=395&cms_pk=15833.

Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G. e Valensise G., INGV-SGA (2007) - CFTI4Med, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean Area (760 B.C.-1500). <http://storing.ingv.it/cfti4med/>.

ISIDe Working Group (2010) - Italian Seismological Instrumental and parametric database. [Online], Available: <http://iside.rm.ingv.it>.

ISPRA (2009) - *Carta Geologica d'Italia, Fogli 236 e 237*. Coord. Scientifico: Regione Emilia-Romagna. ISPRA, Servizio Geologico d'Italia – Regione Emilia-Romagna, Servizio geologico, sismico e dei suoli. SystemCart, Roma.

Lanzo G. & Silvestri F. (1999) – *Risposta Sismica Locale*. Edizioni Hevelius

Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E., Antonucci A. (2019). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 2.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.2>.

Martelli L., Calabrese L., Ercolessi G., Severi P., Romani M., Tarabusi G., Pileggi D., Rosselli S., Minarelli L., Pergalani F., Compagnoni M., Vannucchi C., Madiati C., Facciorusso J., Fioravante V., Giretti D., Mucciarelli M., Priolo E., Laurenzano G., Brammerini F., Speranza E., Conte C., Di Salvo G., Giuffre' M., Zuppiroli M., Guidi F., Vona V. Con Il Contributo Di Manicardi A., Mengoli B., Ugoletti C. e Ricci L. (2013) - Microzonazione sismica dell'area epicentrale del terremoto della pianura Emiliana del 2012 (Ord. 70/2012). Atti del 32° Convegno Nazionale del Gruppo Nazionale di Fisica della Terra Solida, Trieste, ISBN: 978-88-902101-7-4.

Martelli (2015) - *I terremoti dell'Appennino Bolognese*. La geologia. Nueter, XLI, n. 82, 387-395.

Meletti, Valensise (2004) – *Zonazione sismogenetica ZS9 – App.2 al Rapporto conclusivo*. Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 3274/2003), Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Ministero delle Infrastrutture (2018) – D.M. 17/01/2018 (G.U. n.42 del 20/02/2018 – Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni.

Mucciarelli M. (a cura di) (2012) - *Tecniche speditive per la stima dell'amplificazione sismica e della dinamica degli edifici. Studi teorici ed applicazioni professionali*. Edizioni Aracne.

Naso G., Martelli L., Baglione M., Brammerini F., Castenetto S., D'Intinosante V., Ercolessi G. (2019): *Maps for land management: from geology to seismic hazard*, Boll. Geof. Teor. Appl., Vol. 60, DOI 10.4430/bgta0263.

Pieri M. e Groppi G. (1981) - Subsurface geological structure of the Po Plain (Italy). Progetto Finalizzato Geodinamica, publ.n° 414, C.N.R., 23.

Provincia di Bologna – *Variante al PTCP in materia di riduzione del rischio sismico. Adeguamento alla L.R. 19/2008*. 2013

RER – ENI, Agip (1998): *Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna*. A cura di G. M. Di Dio. Regione Emilia-Romagna, ENI Agip Divisione Esplorazione e Produzione. S.EL.CA., Firenze, pp 120.

Martelli L. (coord.), Bonini M., Calabrese L., Corti G., Ercolessi G., Molinari F. C., Piccardi L., Pondrelli S., Sani F. (2017): *Carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna e aree limitrofe. Con note illustrative*. Regione Emilia-Romagna, Servizio geologico, sismico e dei suoli. Con note illustrative e CD. DREAM Italia.

Regione Emilia-Romagna - Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, CNR - Istituto di Geoscienze e Georisorse – *Università degli Studi di Firenze - INGV - Carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna e aree limitrofe (2017) – scala 1:250.000*

Regione Emilia-Romagna - Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli - *Carta Geologica in scala 1:10.000 della regione Emilia-Romagna - cartografia interattiva consultabile on line: https://applicazioni.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss*

Regione Emilia-Romagna - *Legge Regionale n.24/2017 - “Disciplina regionale sulla tutela e l’uso del territorio”*. BURERT n. 304 del 21/12/2017.

Regione Emilia-Romagna - *Delibera Regionale n.112/2007 - “Approvazione dell’atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell’Art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000 Disciplina generale sulla tutela del territorio, in merito a <<Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica>>”*.

Regione Emilia-Romagna – *Delibera della Giunta Regionale n.2193/2015 - “Art. 16 della L.R. n.20 del 24/3/2000. Approvazione aggiornamento dell’atto di coordinamento tecnico denominato <<Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica>>, di cui alla deliberazione dell’Assemblea Legislativa 2 maggio 2007, n. 112”*. BURER n. 4 del 8 gennaio 2016 parte seconda.

Regione Emilia Romagna – *Delibera della Giunta Regionale n.630/2019 - “Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale ed urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n.24/2017”*. BURER. n. 143 del 6 maggio 2019 parte seconda.

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (2019). *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 2.0*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.2>.



Metodologie di elaborazione e risultati della cle

Gruppo di lavoro

Il Comune di Bologna è risultato destinatario di contributi stanziati dal Dipartimento della Protezione Civile nazionale per l'adeguamento degli studi di microzonazione sismica (MS) e l'elaborazione delle analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE) ai sensi della Legge 77/2009.

Il Comune di Bologna ha affidato al Raggruppamento Temporaneo di Professionisti e Imprese costituito dal geologo Samuel Sangiorgi e dall'ingegnere Marco Soglia, le attività di elaborazione delle suddette analisi di MS e CLE, ai sensi dell'Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 532/2018 (OCDPC 532/2018), recepita dalla Regione Emilia-Romagna con Deliberazione della Giunta Regionale n. 2047/2018. Le analisi hanno inoltre permesso l'adeguamento degli studi di microzonazione sismica comunali vigenti alla recente DGR n. 630/2019.

Per espletare le analisi di CLE, si è costituito un team di lavoro di Professionisti con competenze interdisciplinari, come necessario per le attività in oggetto. Sono infatti richieste specifiche competenze, in particolare di valutazione della sostenibilità urbanistica e delle costruzioni. Il team è composto dai seguenti Professionisti:

- dr. Geol. Samuel Sangiorgi (iscritto all'Albo dei Geologi della Regione Emilia-Romagna Sez. A n. 990), con ruolo di coordinamento generale;
- dr. Ing. Marco Soglia (iscritto all'Albo Ingegneri della Provincia di Bologna n. 5586/A), con ruolo di rilevatore degli aggregati strutturali e delle singole unità strutturali interferenti con le infrastrutture di accessibilità/connesione. L'Ing. Soglia si è inoltre occupato della compilazione (attraverso l'apposita modulistica standard) delle caratteristiche generali e specifiche dei manufatti, in quanto di pertinenza prevalentemente ingegneristica;
- dr. Geol. Antonio Milioto (iscritto all'Albo dei Geologi della Regione Emilia-Romagna Sez. A n. 1362), con ruolo di elaborazione, rappresentazione e archiviazione informatica conclusiva.

La figura 1.1 propone un inquadramento del territorio del Comune di Bologna: il territorio è situato nelle propaggini meridionali della pianura Padana, a ridosso dei primi rilievi collinari dell'Appennino tosco-emiliano, fra lo sbocco delle valli del fiume Reno e del torrente Savena, che la bagnano longitudinalmente, rispettivamente a ovest e a est. L'altimetria del territorio comunale spazia dai 29 m s.l.m. del quartiere di Corticella ai 54 del centro del capoluogo, fino ai circa 280 del Colle della Guardia, che domina sull'area urbana, e ai circa 390 del Monte Sabbiuo ai confini meridionali del territorio comunale. Il territorio del Comune ha un'estensione complessiva di circa 140,86 kmq e vi risiedono 392.027.

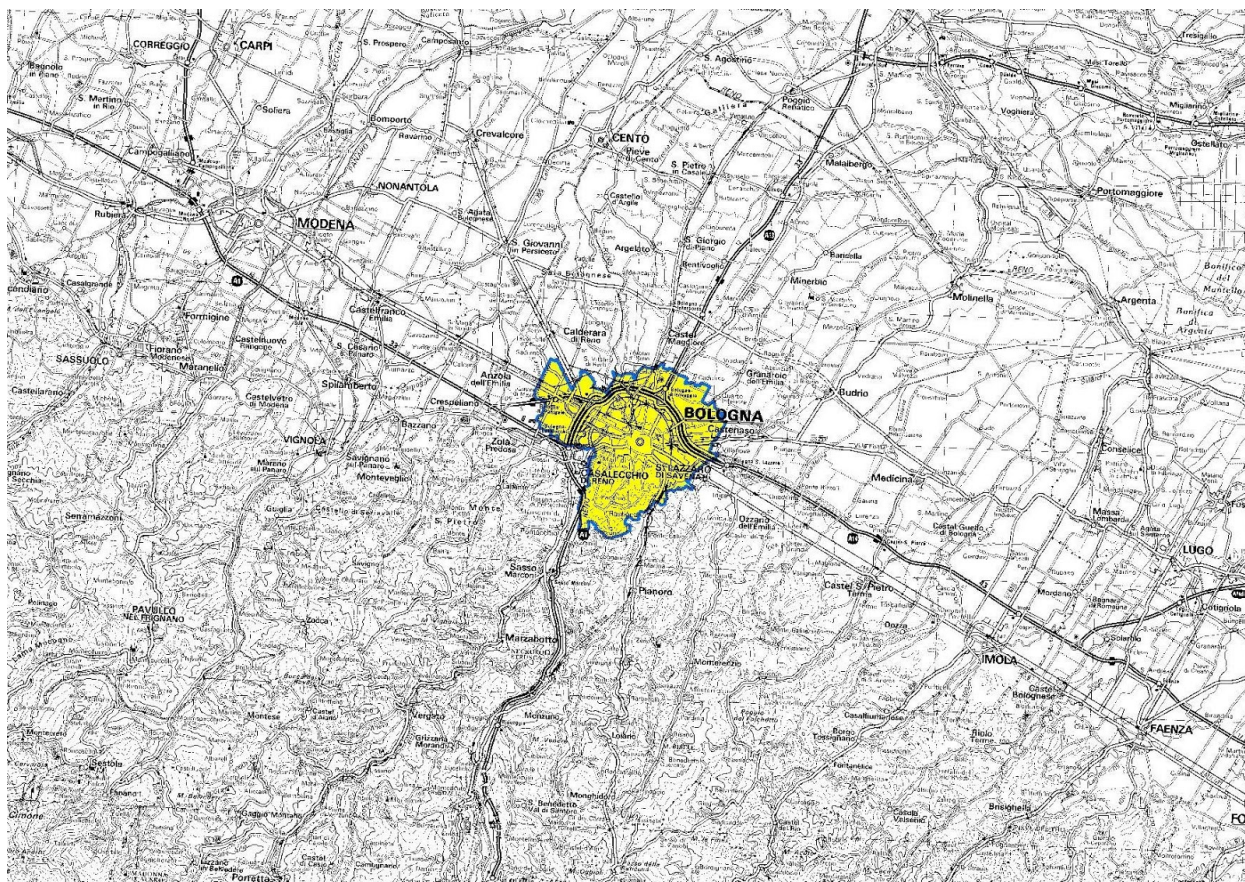


Figura 1.1 – Localizzazione del territorio del Comune di Bologna evidenziato in giallo (base topografica 1:250.000 RER)

Definizione delle Condizioni Limite per l’Emergenza

La CLE è così spiegata nell’OPCM 4007/2012 (figura 1.2):

“si definisce come Condizione Limite per l’Emergenza dell’insediamento urbano quella condizione al cui superamento, a seguito del manifestarsi dell’evento sismico, pur in concomitanza con il verificarsi di danni fisici e funzionali tali da condurre all’interruzione delle quasi totalità delle funzioni urbane presenti, compresa la residenza, l’insediamento urbano conserva comunque, nel suo complesso, l’operatività della maggior parte delle funzioni strategiche per l’emergenza, la loro accessibilità e connessione con il contesto territoriale”.

L’analisi della CLE dell’insediamento urbano è stata effettuata utilizzando la modulistica predisposta dalla Commissione Tecnica di cui all’articolo 5 commi 7 e 8 dell’O.P.C.M. 3907/2010 ed emanata con apposito decreto del Capo del Dipartimento della protezione civile. Tale analisi ha comportato:

1. l’individuazione degli edifici e delle aree che garantiscono le funzioni strategiche per l’emergenza;
2. l’individuazione delle infrastrutture di accessibilità e di connessione con il contesto territoriale, degli edifici e delle aree di cui al punto 1) e gli eventuali elementi critici;

3. l'individuazione degli aggregati strutturali e delle singole unità strutturali che possono interferire con le infrastrutture di accessibilità e di connessione con il contesto territoriale (articolo 18, O.P.C.M. 4007/2012).

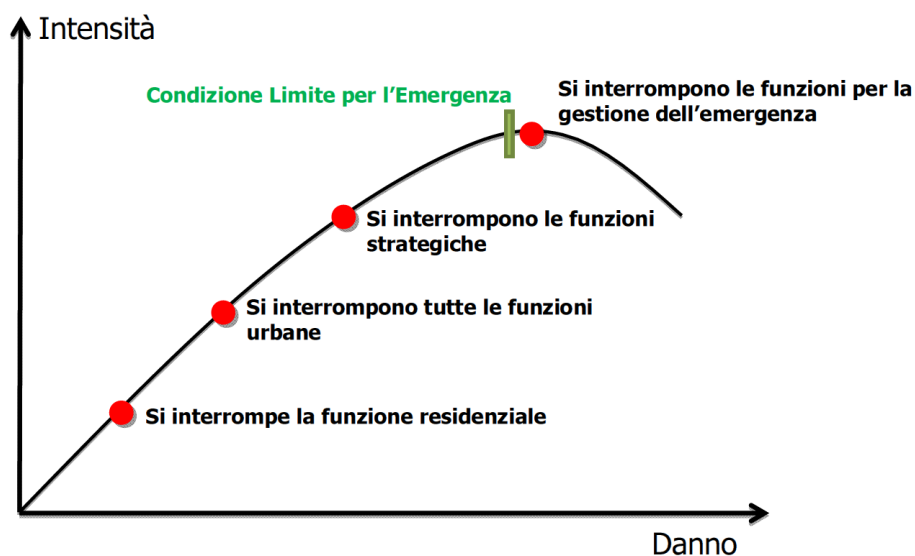


Figura 1.2. Grafico concettuale della Condizione Limite per l'Emergenza (fonte: Protezione Civile).

A tal fine ci si è riferiti agli appositi standard di archiviazione dei dati indicati dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica (v.3.0.2), a cui si rimanda per ogni approfondimento.

I dati sono stati raccolti e archiviati attraverso un'apposita modulistica composta da 5 tipi di schede (figura 1.2) e rappresentati cartograficamente in formato shapefile.

Le 5 schede utilizzate sono:

- ES Edificio Strategico;
- AE Area di Emergenza;
- AC Infrastruttura Accessibilità/Connessione;
- AS Aggregato Strutturale;
- US Unità Strutturale.

L'analisi, è stata espletata in concomitanza agli studi di microzonazione sismica di livello 2 del Comune di Bologna.

Per quanto riguarda l'archiviazione informatica, si rammenta che è stato utilizzato il software dedicato "SoftCLE", scaricabile dal sito web del Dipartimento della Protezione Civile³¹, che permette l'inserimento dei dati all'interno del database "CLE_db.mdb".

³¹ http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/commissione_opcm_3907.wp

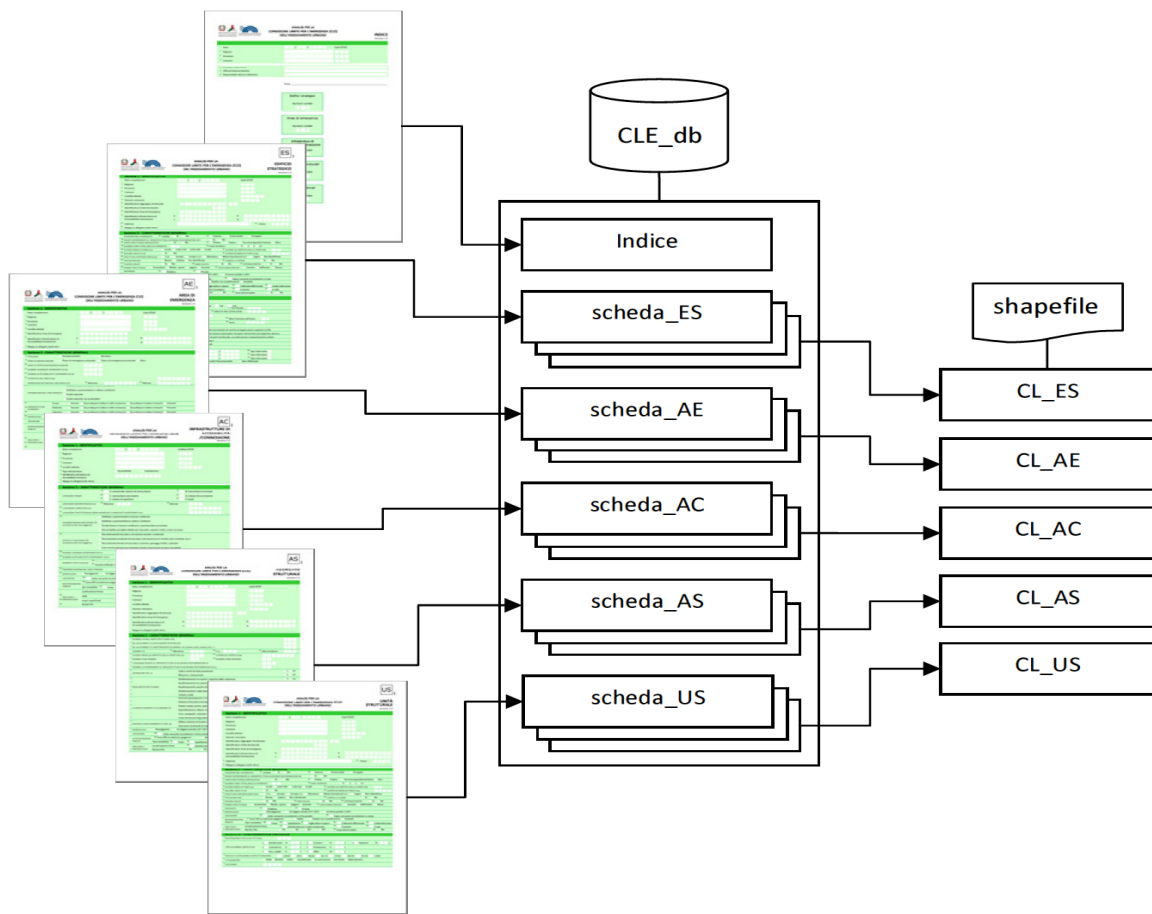


Figura 1.3 – Schema di archiviazione per l’analisi della CLE (da: “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica. Analisi delle CLE. v.3.0.2”).

Dati di base

L'elaborazione dell'analisi CLE si è basata sulla seguente documentazione:

1. Carta Tecnica Regionale (CTR) aggiornata al 2017 e alla scala 1:5.000 (elementi: 220032; 220043; 22071; 220072; 220081; 220082; 220083; 220084; 220111; 220121; 220122; 220123; 220124; 220161; 220162; 220164; 221012; 221013; 221051; 221052; 221053; 221054; 221063; 221064; 221091; 221092; 221093; 221094; 221104; 221134). Si tratta della base cartografica più aggiornata disponibile per quanto riguarda lo stato dell'urbanizzato (edifici e viabilità). Per questo lavoro, la base topografica è stata georeferenziata secondo il sistema di riferimento richiesto, ossia nelle coordinate "WGS_1984_UTM_Zone_33N", per produrre tutti gli strati informativi delle analisi in coerenza con quanto richiesto dall'OCDPD 532/2018 e dalla deliberazione regionale 2047/2018;
2. Piano Comunale di Protezione Civile, edizione aggiornata al 15/04/2016; tale documentazione ha permesso di individuare gli edifici strategici e le aree di emergenza assunti nell'analisi della CLE;
3. Studio di microzonazione sismica di livello 2 del Comune di Bologna³² (realizzato in concomitanza alle analisi di CLE);
4. Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico per il Bacino del Fiume Reno, approvato dalla Giunta della Regione Emilia-Romagna con DGR n. 567 del 07/04/2003, e Variante ai Piani Stralcio del bacino idrografico del Fiume Reno finalizzata al coordinamento tra tali Piani e il Piano Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) approvato, per il territorio di competenza, dalla Giunta Regionale Emilia-Romagna con deliberazione n. 2111 del 05.12.2016, per quanto riguarda l'inquadramento di sintesi relativo al rischio idraulico locale di competenza;
5. Tavola 2A – Rischio da frana, assetto versanti e gestione delle acque meteoriche – versione aggiornata aprile 2017 del PTCP Città Metropolitana di Bologna.

Criteri di selezione degli elementi del sistema di gestione dell'emergenza

L'analisi della CLE per il Comune di Bologna è stata eseguita in collaborazione con il Servizio Programmazione Territoriale e Negoziata della Regione Emilia-Romagna, con il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli (SGSS) regionale e con il "Settore piani e progetti urbanistici - dipartimento urbanistica, casa e ambiente" del Comune di Bologna.

Si è deciso di utilizzare un approccio che ha visto il coinvolgimento di tutte le figure professionali interessate (pianificazione, protezione civile e lavori pubblici); questo ha permesso in sede di analisi della CLE di valutare il piano di emergenza vigente e conseguentemente di procedere alla compilazione della CLE secondo i richiesti standard nazionali.

La valutazione in itinere degli elementi del piano di emergenza, ha permesso altresì di verificare gli assi stradali di connessione e accessibilità andando a scegliere (penalizzando la ridondanza dei percorsi), unicamente quelli che consentono un adeguato accesso ai mezzi della protezione civile e con un numero di edifici interferenti limitati o in alcuni casi nulli. In particolare, nel caso di funzioni strategiche ridondanti si è deciso di considerare gli edifici strategici con caratteristiche costruttive generali migliori e di epoca costruttiva più recente.

³²

Elaborato dal Raggruppamento Temporaneo di Professionisti – Sangiorgi, Soglia.

Per l'analisi della CLE, in coerenza con il Piano Comunale di Protezione Civile del Comune di Bologna, si individua come sede del Centro Operativo Comunale (COC) il complesso immobiliare comunale destinato al Volontariato denominato "Villa Tamba", sito in Bologna via della Selva Pescarola nr. 26 (figura 3.1). Con la scelta di tale ubicazione si è voluto far coincidere la sede di tale struttura di controllo e di comando con quella sovracomunale denominata Centro Operativo Misto - C.O.M.

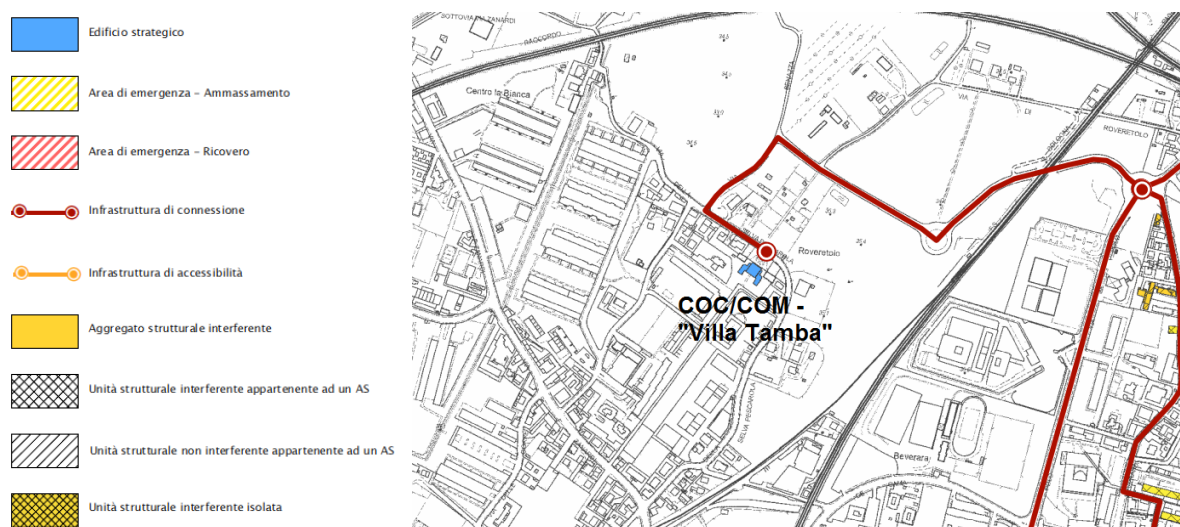


Figura 3.1. Stralcio della cartografia della CLE dove viene localizzata la sede di COC/COM

Nel Comune di Bologna è presente anche il Centro Coordinamento Soccorsi (CCS) con sede nella Prefettura in via degli Agresti nr. 5 per la pianificazione di emergenza a livello provinciale.

La funzione di soccorso sanitario deve assicurare forme di prima assistenza alle popolazioni colpite dagli eventi; tale obiettivo può essere efficacemente perseguito nelle strutture ospedaliere dotate di pronto soccorso. Per questo motivo si è deciso di tenere in considerazione come edifici strategici tutte le strutture ospedaliere presenti all'interno dei limiti comunali (Ospedale Maggiore, Ospedale Sant'Orsola-Malpighi, Ospedale Rizzoli, Ospedale Bellaria).

Per funzione di intervento operativo si intende l'attuazione delle iniziative volte al superamento dell'emergenza. Per questo ruolo si è deciso di considerare l'Unità Intermedia Protezione Civile (Figura 3.2) organicamente inserita nel Corpo di Polizia Municipale del Comune di Bologna e la sua struttura ha sede in via della Beverara nr. 123. L'U.I. Protezione Civile rappresenta una struttura tecnico-operativa permanente le cui finalità sono quelle di realizzare gli obiettivi del Sindaco e dell'Amministrazione Comunale in materia di protezione civile.

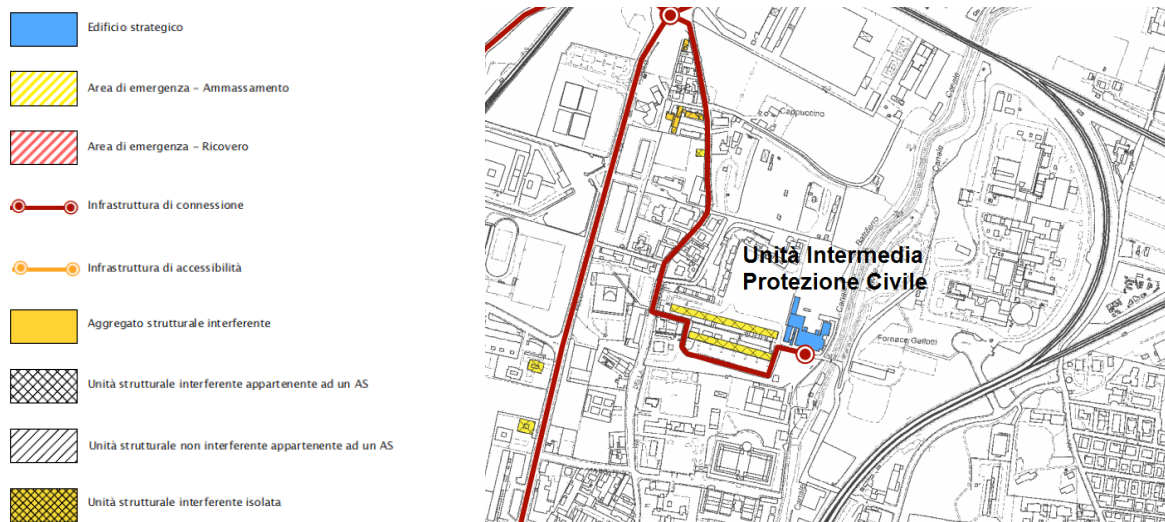


Figura 3.1. Stralcio della cartografia della CLE dove viene localizzata la sede di COC/COM

Si rammenta che l'impianto dell'analisi della CLE non considera le aree di attesa in quanto non oggetto di numerazione propria e di schedatura specifica (così come specificato negli standard): per questo motivo alcune aree del territorio comunale sono risultate escluse da viabilità di "connessione" e "accessibilità".

Il sistema di gestione dell'emergenza

L'analisi della CLE non ha previsto presenze di funzioni strategiche all'interno di unici edifici, come si evince dalle schede e dalle seguenti tabelle riassuntive, compilate ai sensi della DGR 2047/2018. L'impianto della CLE è composta da:

10 Aree di Emergenza (AE), di cui una di ammassamento e nove di ricovero. Si rammenta, inoltre, che non sono state considerate le "Aree di Attesa", in quanto non oggetto, così come specificato nel manuale, di numerazione propria e di schedatura specifica;

Aree di emergenza (AE)

Tipo AE	Denominazione area
Ammassamento	001 - via dell'Industria
Ricovero	002 - Giardino Lunetta Gamberini
Ricovero	003 - Antistadio
Ricovero	004 - Parco Nord
Ricovero	005 -Giardini Margherita
Ricovero	006 - via di Corticella - Caserme Rosse
Ricovero	007 - via dell'Arcoveggio (Parco Fascia Boscata)
Ricovero	008 - via de' Carracci - Parco Villa Angeletti
Ricovero	009 - Prati di Caprara
Ricovero	010 - Parco dei Cedri

85 Edifici Strategici (ES) per 19 diverse funzioni strategiche, di cui 9 in unità strutturali isolate e 76 unità strutturali in aggregato; di seguito vengono elencate le sole funzioni strategiche;

Edifici Strategici (ES)

Denominazione edificio	Tipo funzione strategica	Localizzazione
Villa Tamba (37460000)	Centro Operativo Comunale - COC/001	Via Selva Pescarola 26
Pronto Soccorso Oculistico - Ospedale Malpighi (92870000)	Soccorso Sanitario/002	Via Pelagio Pelagi 9
Pronto Soccorso Generale e Ortopedico - Ospedale Sant'Orsola (117560000)	Soccorso Sanitario/002	Via Pietro Albertoni 15
Pronto Soccorso Ginecologico - Ospedale Sant'Orsola (118110000)	Soccorso Sanitario/002	Via Massarenti 13
Pronto Soccorso Pediatrico - Ospedale Sant'Orsola (113440000)	Soccorso Sanitario/002	Via Massarenti 11
Istituto Ortopedico - Ospedale Rizzoli (250140000)	Soccorso Sanitario/002	Via Giuli Cesare Pupilli 1
Pronto Soccorso Generale - Ospedale Maggiore (395460000)	Soccorso Sanitario/002	Largo Nigrisoli 2
Pronto Soccorso Ginecologico - Ospedale Maggiore (395550000)	Soccorso Sanitario/002	Via dell'Ospedale 2
Unità Intermedia Protezione Civile (324450000)	Intervento Operativo/003	Via della Beverara 123
Centrale Radio Operativa Polizia Municipale (63940000)	Altro/004	Via Ferrari 42
Ospedale Bellaria (68530000)	Ricovero in Emergenza/005	Via Altura 3
Padiglione 23 - Ospedale Sant'Orsola (185050000)	Ricovero in Emergenza/006	Via Ercolani 17
Comando Regionale e Provinciale Carabinieri (193980000)	Altro/007	Via dei Bersaglieri 3
Stazione Ferroviaria (234740000)	Altro/008	Piazza delle Medaglie d'Oro
Questura (278020000)	Altro/009	Piazza Galileo 7
Prefettura-UTG (278020000)	Centro Coordinamento Soccorsi - CCS/010	Via degli Agresti 5
Sala Operativa Centrale RFI (337780000)	Altro/011	Via Bovi Campeggi 22/10
Compartimento Polizia Stradale (338460000)	Altro/012	Via Bovi Campeggi 11
Protezione Civile Emilia-Romagna/Corpo Forestale dello Stato (343650000)	Altro/013	Viale Silvani 6
Vigili del Fuoco - distaccamento Fava (361510000)	Altro/014	Viale Aldini 142

391 Assi di Accessibilità/Connessione (AC) di cui 174 di accessibilità 217 di connessione; da segnalare che un Asse di Connessione (AC_5) si trova nel Comune di San Lazzaro di Savena (BO) per permettere il collegamento tra l'Ospedale Bellaria e il resto dell'impianto della CLE;

139 Aggregati Strutturali (AS) interferenti con assi di accessibilità/connessione o con aree di emergenza (o che contengono al loro interno Edifici Strategici); da segnalare che un Aggregato Strutturale (AS_037054000034550000) si trova nel comune di San Lazzaro di Savena (BO), in quanto interferente con un l'Asse di Connessione AC_1;

1071 Unità Strutturali (US) suddivise in 247 unità strutturali isolate interferenti con assi di accessibilità/connesione o con aree di emergenza e 827 unità strutturali in aggregato (di cui 264 interferenti con assi di accessibilità/connesione o con aree di emergenza e 563 non interferenti); da segnalare che 2 Unità Strutturali in aggregato, di cui una interferente (US_03705400003455000001), si trovano nel Comune di San Lazzaro di Savena (BO).

In totale sono state quindi redatte 1696 schede per l'analisi della CLE, costituite da schede ES, AE, AC, AS ed US.

Quando nel DataBase Topografico fornito dalla Regione Emilia-Romagna non erano presenti gli ingombri di alcuni aggregati/unità strutturali, o nel caso in cui a tali ingombri non erano stati assegnati dalla stessa Regione i numeri identificativi, si è proceduto ad assegnare agli aggregati (anche isolati) inseriti in sede di progetto una numerazione progressiva partendo dalla prima decina disponibile; poiché, pertanto, il DataBase Topografico della Regione ad oggi prevede, nel Comune di Bologna, 54.384 aggregati strutturali, sono stati inseriti nuovi elementi partendo dal numero identificativo 54.385.

Indicazioni sintetiche per il comune

Edifici Strategici

Di seguito si riporta una breve descrizione degli edifici strategici individuati dall'analisi della CLE e delle criticità e peculiarità emerse durante la fase di schedatura degli stessi.

Centro Operativo Comunale (001)³³

Il Centro Operativo Comunale (C.O.C.) è ubicato presso il complesso immobiliare comunale destinato al Volontariato denominato "Villa Tamba", sito in Bologna via della Selva Pescarola nr. 26 (vedi Tav4_CLE_2000). Con la scelta di tale ubicazione si è voluto far coincidere la sede di tale struttura di controllo e di comando con quella sovracomunale denominata Centro Operativo Misto (C.O.M.).

L'immobile predetto, data l'ottimale ubicazione geografica, può oggettivamente ritenersi in grado di garantire un rapido e funzionale svolgimento delle attività di intervento di pre-emergenza e di soccorso. Il luogo è ben servito da collegamenti stradali e dotato di parcheggi; l'edificio non è vulnerabile e, nei locali posti a piano terra, quindi facilmente accessibili, è situata la sala radio operativa.

Area Ospedaliera Sant'Orsola Malpighi (002)

L'Azienda ospedaliero-universitaria di Bologna - Policlinico Sant'Orsola-Malpighi è, per numero di posti letto, una delle più grandi aziende ospedaliere pubbliche in Italia, ed è oggi anche sede della Scuola di Medicina e Chirurgia dell'Università di Bologna.

Ha una dotazione di circa 1.500 posti letto e di circa 5.000 dipendenti; ogni anno vengono effettuati 55.000 ricoveri ordinari e 14.300 in day hospital, 139.000 accessi in emergenza, oltre 33.200 interventi chirurgici e più di 3 milioni di visite ed esami specialistici per l'esterno al giorno.³⁴

Per mole di pazienti è il primo ospedale di Bologna. Il 32% dei dimessi proviene da fuori provincia (21% da fuori regione). Si stimano circa 20.000 presenze al giorno di frequentatori (personale

³³ Piano Comunale di Protezione Civile (aggiornamento anno 2016)

³⁴ Dati del personale aggiornati al 31 dicembre 2014, su aosp.bo.it

dipendente, studenti e docenti universitari, pazienti, visitatori e fornitori).

L'ospedale Sant'Orsola fu probabilmente fondato nel 1592, proprio fuori dalle mura della città di Bologna.

In quella che oggi è definita "Area Malpighi" (in particolare il padiglione 3) ricade un antico monastero dedicato a San Gregorio Magno, con la chiesa trecentesca e il chiostro, che trovò la sua vocazione assistenziale nel XVI secolo con l'"Opera dei Mendicanti"; nel 1667 è stato costruito il Portico dei Mendicanti che costeggia via Albertoni.

Nel 1809 l'ospedale disponeva di 273 posti letto; da quel periodo divenne sempre più forte l'attenzione della Facoltà di Medicina e Chirurgia dell'Università di Bologna, tanto che, tra il 1860 e il 1869, il S. Orsola ne divenne definitivamente la struttura di supporto assistenziale, e l'antico ricovero si trasformò in un Ospedale con caratteristiche più moderne.

Nel 1929 a seguito della crescita continua in termini di dimensioni, di specialità considerate e di insegnamenti previsti, venne avviata la programmazione di un nuovo assetto edilizio.

Nel 1978 la riforma del Servizio Sanitario Nazionale determinò la fusione del S. Orsola con l'ospedale "Marcello Malpighi". L'ospedale Malpighi fu progettato agli inizi degli anni 1970. La struttura di grandi dimensioni fu costruita negli anni '70 del Novecento, sull'area del vecchio "Ricovero di mendicità Vittorio Emanuele II" risalente al 1860.

L'ospedale è costituito da 30 padiglioni e si snoda per circa 600 metri (1 km se si considera anche l'area Malpighi) attorno ad un viale alberato centrale, che dà un senso di amenità all'ambiente micro-urbano del policlinico; ha un'estensione di circa 21 ettari.

A partire dal 2006 sono cominciati i lavori per la realizzazione di vari nuovi edifici, e molti altri verranno profondamente ristrutturati e modificati. Tra i lavori di maggior importanza si citano la costituzione del "Polo Chirurgico e dell'Emergenza", che aggiunge al preesistente padiglione 5 una nuova ala di 6 piani destinata al Pronto soccorso e alla sua degenza (2010), e la Costituzione del "Polo Cardio-Toraco-Vascolare", il cui progetto ha visto la demolizione del padiglione 22 e di parte del padiglione 23, sulla cui area è sorto un nuovo edificio di 4 piani, con 289 posti letto e 6 sale operatorie più 2 ibride, integrato con la parte "superstite" del padiglione 23

Per l'analisi della CLE (vedi Tav10_CLE_2000) si sono esclusivamente considerate quelle strutture che ospitano funzioni di emergenza e di Soccorso Sanitario (002), come già elencato 3.2 (sez. Edifici Strategici), e quelle che presentano stabilmente le degenze e che risultano essere edifici di recente costruzione e con adeguate caratteristiche antisismiche, come per esempio il già citato padiglione 23.

Istituto ortopedico Rizzoli (002)

L'Istituto Ortopedico Rizzoli è un Istituto di ricovero e cura a carattere scientifico (IRCCS). Oltre ad essere un centro di eccellenza per l'ortopedia e la traumatologia, è anche la clinica ortopedica universitaria della Facoltà di Medicina e Chirurgia dell'Università di Bologna. L'ospedale è dotato di 293 posti letto. Esegue circa 150.000 visite e 20.000 interventi chirurgici all'anno. Conta circa 1.400 unità di personale, di cui 300 impegnati in attività di ricerca.³⁵

L'ospedale fu fondato alla fine del XIX secolo per volontà di Francesco Rizzoli, famoso chirurgo bolognese, che lasciò il proprio patrimonio alla Provincia di Bologna perché fondasse un ospedale ortopedico. La sede del nuovo ospedale venne individuata nell'antico monastero di San Michele in Bosco, ricostruito nel 1437 ad opera dei monaci olivetani che venne quindi ristrutturato ed attrezzato come moderno ospedale. Inaugurato nel 1896, divenne presto uno tra i migliori ospedali ortopedici del mondo per dimensioni, attrezzature, organizzazione, ricerca e didattica.

Dagli anni '50 la sede storica verrà affiancato da un altro edificio, il cosiddetto "Monoblocco", al cui interno si trova il Pronto Soccorso, che subirà nel tempo varie modifiche, l'ultima delle quali nel 2013 ha previsto la costruzione di un fabbricato di cinque piani costruito ex-novo (la cosiddetta "Spina").

³⁵ **Dati ufficiali Istituto Ortopedico Rizzoli, su ior.it (2015)**

Il Rizzoli è costituito da un unico Aggregato Strutturale, e per l'analisi della CLE (vedi Tav9_CLE_2000) si sono esclusivamente considerate quelle strutture che ospitano funzioni ospedaliere, sono stati pertanto esclusi gli edifici riguardanti le funzioni religiose quali la Chiesa di San Michele in Bosco ed edifici accessori.

Area Ospedaliera Maggiore (002)

L'Ospedale Maggiore Carlo Alberto Pizzardi è per dimensione il secondo ospedale del comprensorio (circa 900 posti letto), dopo il policlinico Sant'Orsola-Malpighi, il quale però è a carattere universitario. La sua tradizione va fatta risalire alla confraternita laica dei Battuti (1260) e al loro "Ospedale della Vita" più volte dislocato e sparso nella città antica. La nuova struttura è stata inaugurata nel 1955.

È composto da tre edifici principali di 15 piani più altre strutture minori tutte collegate tra loro, tra cui per ampiezza si citano la Maternità e le Malattie infettive. La terza torre (Edificio D), attivata recentemente, dispone sul tetto di un eliporto per le emergenze più gravi, e a regime aggiungerà altri 227 posti letto e 18 sale operatorie alla dotazione ospedaliera.

Per l'analisi della CLE (vedi Tav5_CLE_2000) si sono esclusivamente considerate quelle strutture che ospitano funzioni di emergenza e di Soccorso Sanitario (002), come il blocco principale, sede del Pronto Soccorso Generale, e la Maternità, sede del Pronto Soccorso Ginecologico.

Unità Intermedia Protezione Civile (003)³⁶

L'U.I. Protezione Civile è organicamente inserita nel Corpo di Polizia Municipale del Comune di Bologna e la sua struttura ha sede in Bologna, via della Beverara nr. 123. L'edificio di cui fa parte L'U.I. si trova all'interno della ex-Fornace Galotti, ceduta al Comune di Bologna nel 1980, e ristrutturata nel 1992 (vedi Tav2_CLE_2000). All'interno è presente anche il Museo del Patrimonio Industriale.

L'U.I. Protezione Civile rappresenta una struttura tecnico-operativa permanente le cui finalità sono quelle di realizzare gli obiettivi del Sindaco e dell'Amministrazione Comunale in materia di protezione civile.

Altri edifici strategici

Di seguito vengono elencati altri funzioni strategiche individuate nel Piano Comunale di Protezione Civile:

- Centrale Radio Operativa: fondamentale per fornire all'U.I. i dati riguardanti l'emergenza;
- Prefettura-UTG: svolge la funzione di Centro Coordinamento Soccorsi;
- Ospedale Bellaria: ospedale al confine orientale con il Comune di San Lazzaro di Savena; all'interno non è presente il Pronto Soccorso, ma risulta fondamentale come struttura di ricovero in emergenza;
- Croce Rossa Italiana: organizzazione di volontariato attiva nelle operazioni di soccorso, di fondamentale importanza nell'ambito della gestione dell'emergenza; la sede principale si trova in via Emilia Ponente 56, nei pressi dell'Ospedale Maggiore;
- Forze Armate: in merito alle forze di polizia e altre forze istituzionali, oltre alla già citata Polizia Municipale che rappresenta la forza di intervento di polizia locale, il capoluogo regionale è sede dei vari Comandi delle forze di polizia statali e delle istituzioni deputate al soccorso, tra cui Questura, Comando Compartimentale Polizia Stradale, Comando Regionale e Provinciale Carabinieri, Comando Regionale e Provinciale Vigili del Fuoco (e relativi distaccamenti), Comando del Corpo Forestale dello Stato, polizia Provinciale;
- Mobilità e trasporti: ai fini dell'analisi della CLE sono stati individuati anche gli edifici chiave per il funzionamento delle infrastrutture di collegamento con la città di Bologna, e che possono assumere carattere strategico in caso di emergenza, quali gli edifici dell'Aeroporto

³⁶

Marconi di Bologna e della stazione ferroviaria, nonché la Sala Centrale Operativa RFI.

Criticità

L'impianto della CLE proposto è stato costruito in maniera tale da evitare inutili ridondanze, consentendo di limitare le condizioni di interferenza. Tuttavia, il tessuto urbano della città Bologna risulta particolarmente complesso, e pertanto si segnalano alcune situazioni di interferenza, localizzate prevalentemente nel centro storico, lungo le vie di connessione necessarie per raggiungere gli edifici strategici della Prefettura-UTG/Questura (principalmente via Amendola/Marconi/Ugo Bassi) e il Comando Regionale e Provinciale Carabinieri (Strada Maggiore), e lungo le principali vie di connessione che si diramano a raggiera a partire dalla cintura del centro storico stesso. Queste interferenze sono dovute alla presenza lungo gli assi stradali di edifici di una certa altezza, generalmente costituiti da 3 o più piani.

Si riscontrano altre interferenze significative nella zona del quartiere fieristico con la presenza delle caratteristiche "Torri" della Regione Emilia-Romagna alte più di 80 metri, nonché della Torre Unipol (127 m) interferente sulla viabilità in uscita dall'uscita 11 (lato nord) della tangenziale di Bologna.

Altre interferenze sono dovute infine a fabbricati adiacenti alle aree di emergenza o presenti all'interno delle stesse.

Modifiche al DBtopo

L'analisi della CLE ha permesso di evidenziare alcune fisiologiche incongruenze nel DataBase Topografico fornito dalla Regione Emilia-Romagna per quel che riguarda l'individuazione e l'identificazione di alcuni Aggregati e Unità Strutturali:

- l'Aggregato Strutturale AS_037006000426570000 è stato suddiviso sostituendo il suffisso _00 dell'Aggregato Strutturale originale con suffissi identificativi _01 e _02 dei nuovi Aggregati Strutturali creati in conseguenza della divisione; per questo lavoro sono stati compilati le schede delle nuove Unità Strutturali isolate US_037006000426570001999 e US_037006000426570001999;
- l'Aggregato Strutturale AS_037006000428320000 è stato suddiviso sostituendo il suffisso _00 dell'Aggregato Strutturale originale con suffissi identificativi _01, _02 e _03 dei nuovi Aggregati Strutturali creati in conseguenza della divisione; per questo lavoro sono stati compilati sono le schede del nuovo Aggregato Strutturale AS_037006000428320001, e relative Unità Strutturali, e la nuova Unità Strutturale isolata US_037006000428320002999; la scheda per il nuovo Aggregato Strutturale AS_037006000428320003 non è stato compilato in quanto non interferente;
- Aggregati Strutturali accorpati: alcuni aggregati sono stati accorpati; in questo caso si è tenuto valido il numero identificativo più basso, "sacrificando" il numero di Aggregato più elevato;
- Aggregati e Unità Strutturali inserite: sono stati inseriti 55 nuovi Aggregati Strutturali, tutti riferiti ad Unità Strutturale isolate. Ai nuovi Aggregati Strutturali inseriti è stata assegnata una numerazione progressiva a partire dal numero 54.385 in quanto il DataBase Topografico Regionale identifica ad oggi, nel Comune di Bologna, un numero di Aggregati Strutturali pari a 54.384 unità.

Elaborati cartografici

Le elaborazioni prodotte sono quelle previste per l'analisi della CLE dall'OCDPC n. 532/2018 così come richiamate nella Delibera di Giunta Regionale n. 2047/2018 concernente i criteri per la realizzazione degli studi di Microzonazione Sismica e per l'archiviazione informatica, rappresentazione e fornitura

dei dati degli studi di Microzonazione Sismica e dell'analisi della Condizione Limite per l'Emergenza. Le elaborazioni dell'analisi della CLE, definite secondo gli standard di rappresentazione e archiviazione informatica, riguardano, oltre alla presente Relazione Illustrativa, il seguente materiale:

- schede degli Edifici Strategici (ES), degli Aggregati Strutturali (AS), delle Unità Strutturali (US), delle Aree di Emergenza (AE) e delle Infrastrutture di Accessibilità/Connessione (AC) compilate secondo le indicazioni contenute nel documento sopra indicato;
- mappe, a varie scale, dei presidi considerati nell'analisi della Condizione Limite per l'Emergenza;
- mappa di sovrapposizione fra la CLE e lo studio di Microzonazione Sismica di maggior dettaglio.

Schede ES, AS, US, AE, AC

L'elaborazione delle schede degli Edifici Strategici (ES), degli Aggregati Strutturali (AS), delle Unità Strutturali (US), delle Aree di Emergenza (AE) e delle Infrastrutture di Accessibilità/Connessione (AC) è stata effettuata compilando le schede con l'ausilio del programma "SoftCLE" secondo le indicazioni contenute nel Manuale per l'analisi della CLE.

Si evidenzia che, quando nelle varie tipologie di schede non è stato compilato il campo "Rischio PAI", si intende che la scheda non ha interferenze con le aree a rischio indicate dai Piani Stralcio per l'Assetto Idrogeologico che disciplinano il territorio.

Oltre al database generato dal software (CLE_db.mdb) sono stati elaborati ed archiviati i file Pdf di ogni singola scheda.

La scheda della tabella "INDICE", destinata ad archiviare i dati dell'analisi della CLE del Comune di Bologna, è stata archiviata, così come indicato nel manuale, dopo essere stata debitamente firmata.

Tavole della CLE

A supporto dell'analisi della CLE sono stati predisposti i seguenti quattro elaborati cartografici:

1. carta CLE scala 1:20.000 (Tavola 1) → inquadra tutto l'impianto di gestione dell'emergenza nel territorio comunale, compresa la viabilità di "accessibilità" verso i comuni limitrofi;
2. carta CLE scala 1:10.000 (Tavola 2a/b/c/d) → rappresentazione di maggior dettaglio del territorio comunale interessato dall'impianto di gestione dell'emergenza, e della viabilità e aree di emergenza interessate da interferenze;
3. carta CLE scala 1:2.000 (Tavola 3) → inquadramento nel dettaglio dell'area aeroportuale di Bologna; all'interno della tavola sono presenti gli edifici strategici denominati "Aeroporto Marconi (489830000)" e "Vigili del Fuoco – distaccamento Aeroporto (489660000)", e varie interferenze sulla viabilità;
4. carta CLE scala 1:2.000 (Tavola 4) → inquadramento nel dettaglio dell'area ex-quartiere Lame; all'interno della tavola sono presenti gli edifici strategici denominati "Villa Tamba/COC (37460000)" e "Unità Intermedia Protezione Civile (324450000)", l'area di emergenza di ricovero denominata "007 – via dell'Arcoveggio (Parco Fascia Boscata)", e varie interferenze sulla viabilità e sull'area di emergenza;
5. carta CLE scala 1:2.000 (Tavola 5) → inquadramento nel dettaglio dell'area ospedaliera del Maggiore; all'interno della tavola sono presenti gli edifici strategici denominati "Pronto Soccorso Generale – Ospedale Maggiore (395460000)", "Pronto Soccorso Ginecologico – Ospedale Maggiore (395550000)" e "Croce Rossa Italiana (397740000)", l'area di emergenza di ricovero denominata "009 – Prati di Caprara", e varie interferenze sulla viabilità e sull'area di emergenza;

6. carta CLE scala 1:2.000 (Tavola 6) → inquadramento nel dettaglio dell'area del Centro Storico; all'interno della tavola sono presenti gli edifici strategici denominati "Stazione Ferroviaria (234740000)", "Questura (278020000)", "Prefettura-UTG/CCS (278020000)", "Sala Operativa Centrale RFI (337780000)", "Compartimento Polizia Stradale (338460000)" e "Protezione Civile Emilia-Romagna/Corpo Forestale dello Stato (343650000)", e varie interferenze sulla viabilità;
7. carta CLE scala 1:2.000 (Tavola 7) → inquadramento nel dettaglio dell'area ex-quartiere Corticella; all'interno della tavola sono presenti gli edifici strategici denominati "Vigili del Fuoco – Comando Provinciale e Regionale (454130000)" e "Polizia Provinciale (454460000)";
8. carta CLE scala 1:2.000 (Tavola 8) → inquadramento nel dettaglio dell'area ex-quartiere San Vitale (est); all'interno della tavola sono presenti l'edificio strategico denominato "Centrale Radio Operativa Polizia Municipale (63940000)", l'area di emergenza di ammassamento denominata "001 – via dell'Industria", e varie interferenze sulla viabilità;
9. carta CLE scala 1:2.000 (Tavola 9) → inquadramento nel dettaglio dell'area ospedaliera Rizzoli; all'interno della tavola sono presenti gli edifici strategici denominati "Istituto Ortopedico – Ospedale Rizzoli (250140000)" e "Vigili del Fuoco – distaccamento Fava (361510000)", e varie interferenze sulla viabilità;
10. carta CLE scala 1:2.000 (Tavola 10) → inquadramento nel dettaglio dell'area del Centro Storico; all'interno della tavola sono presenti gli edifici strategici denominati "Pronto Soccorso Oculistico - Ospedale Malpighi (92870000)", "Pronto Soccorso Generale e Ortopedico – Ospedale Sant'Orsola (117560000)", "Pronto Soccorso Ginecologico - Ospedale Sant'Orsola (118110000)", "Pronto Soccorso Pediatrico - Ospedale Sant'Orsola (113440000)", "Padiglione 23 – Ospedale Sant'Orsola (185050000)" e "Comando Regionale e Provinciale Carabinieri (193980000)", e varie interferenze sulla viabilità;
11. carta CLE scala 1:2.000 (Tavola 11) → inquadramento nel dettaglio dell'area ospedaliera del Bellaria; all'interno della tavola sono presenti l'edificio strategico denominato "Ospedale Bellaria (68530000)", l'area di emergenza di ricovero denominata "010 – Parco dei Cedri", e varie interferenze sulla viabilità e sull'area di emergenza;
12. carta CLE scala 1:2.000 (Tavola 12) → inquadramento nel dettaglio dell'area dello Stadio Comunale; all'interno della tavola sono presenti l'area di emergenza di ricovero denominata "003 - Antistadio", e varie interferenze sulla viabilità e sull'area di emergenza;
13. carta CLE scala 1:2.000 (Tavola 13) → inquadramento nel dettaglio dell'area ex-quartiere Bolognina (sud); all'interno della tavola sono presenti l'area di emergenza di ricovero denominata "008 – via de' Carracci – Parco Villa Angeletti", e varie interferenze sulla viabilità e sull'area di emergenza;
14. carta CLE scala 1:2.000 (Tavola 14) → inquadramento nel dettaglio dell'area ex-quartiere Bolognina (nord); all'interno della tavola sono presenti l'area di emergenza di ricovero denominata "004 – Parco Nord" e "006 – via di Corticella – Caserme Rosse", e varie interferenze sulla viabilità e sull'area di emergenza;
15. carta CLE scala 1:2.000 (Tavola 15) → inquadramento nel dettaglio dell'area ex-quartiere Murri; all'interno della tavola sono presenti l'area di emergenza di ricovero denominata "005 – Giardini Margherita", e varie interferenze sulla viabilità e sull'area di emergenza;
16. carta CLE scala 1:2.000 (Tavola 16) → inquadramento nel dettaglio dell'area ex-quartiere Mazzini; all'interno della tavola sono presenti l'area di emergenza di ricovero denominata "002 – Giardini Lunetta Gamberini", e varie interferenze sulla viabilità e sull'area di emergenza;
17. carta CLE scala 1:2.000 (Tavola 17) → inquadramento nel dettaglio dell'area quartiere Borgo Panigale; all'interno della tavola sono presenti varie interferenze sulla viabilità;
18. carta CLE scala 1:2.000 (Tavola 18) → inquadramento nel dettaglio dell'area quartiere fieristico; all'interno della tavola sono presenti varie interferenze sulla viabilità;
19. carta CLE scala 1:2.000 (Tavola 19) → inquadramento nel dettaglio dell'area ex-quartiere San

- Vitale (ovest); all'interno della tavola sono presenti varie interferenze sulla viabilità;
20. carta CLE scala 1:2.000 (Tavola 19) → inquadramento nel dettaglio dell'area ex-quartiere San Ruffillo; all'interno della tavola sono presenti varie interferenze sulla viabilità;
 21. carta di sovrapposizione della microzonazione sismica di livello 2 (Distribuzione dei valori di H) con l'impianto di gestione dell'emergenza alla scala 1:10.000/5.000 (Tavola 21a/b/c/d/e) → rappresentazione di maggior dettaglio del territorio comunale interessato dall'impianto di gestione dell'emergenza, e della viabilità e aree di emergenza interessate da interferenze.

