Comune di Messina

Università degli Studi di Messina
Dipartimento di Ingegneria Civile

ACCORDO DI PROGRAMMA TRA

COMUNE DI MESSINA - STAFF PROTEZIONE CIVILE

E

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MESSINA - DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE

Valutazione della pericolosità idraulica dei torrenti: Galati, Mili, Larderia, Zafferia, San Filippo, Cumia-Bordonaro, Bisconte-Catarratti e Papardo nel territorio comunale di Messina

ALLEGATO 6
(BACINO DEI TORRENTI CUMIA E BORDONARO)

REDAZIONE
Prof. Ing. Giuseppe Tito ARONICA

COLLABORATORI:
Dott. Ing. Brunella Bonaccorso per gli studi idrologici
Dott. Ing. Giusina Brigandì per gli studi idrologici
Dott. Ing. Susanna Naso per gli studi idraulici

Il Responsabile Scientifico
Prof. Ing. Giuseppe Tito ARONICA

Il Direttore del Dipartimento
Prof. Ing. Antonino D'ANDREA

Messina, febbraio 2013

1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

INTRODUZIONE

Il Cumia e il Bordonaro sono due rami secondari, rispettivamente in destra e sinistra idraulica, del torrente Gazzi, che scorre, interamente coperto, all'interno dell'omonimo rione nella III Circoscrizione del Comune di Messina (Figura 1). Il bacino del torrente si estende per una superficie complessiva di circa 7.74 Km^2 e, al suo interno, ricadono (Figura 2) i villaggi di Cumia Superiore e Cumia Inferiore (sottobacino del Cumia), Nunziatella e Bordonaro (sottobacino del Bordonaro).

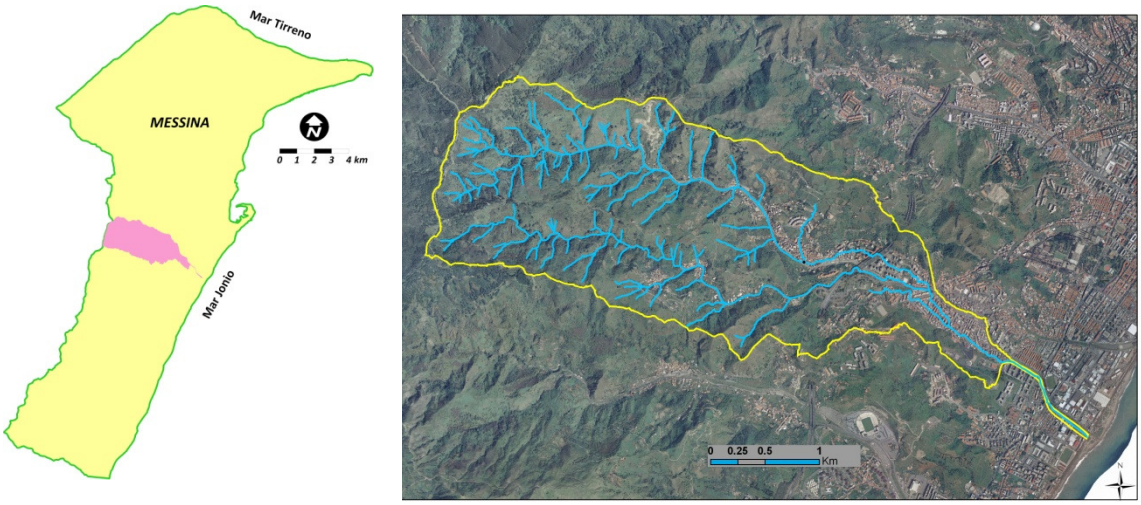

Figura 1 *– Provincia di Messina e localizzazione del bacino del Torrente Cumia Bordonaro.*

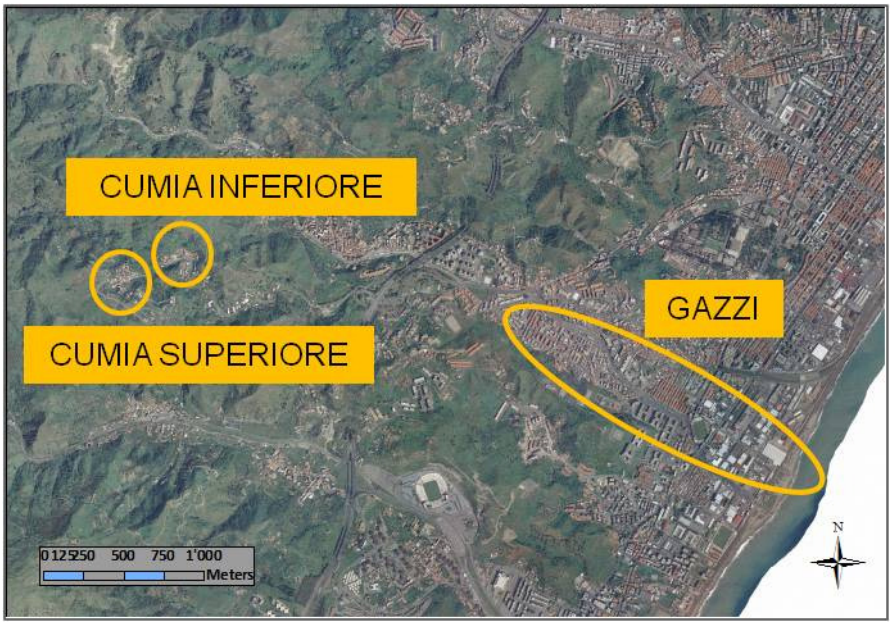

Figura 2 *– Localizzazione del villaggio Cumia Inferiore.*

La lunghezza dell'asta principale del bacino è pari a circa 8.22 Km, con una pendenza media del 8 %. La pendenza media e altitudine media del bacino risultano pari rispettivamente a 48.13 % e 381.74 m.

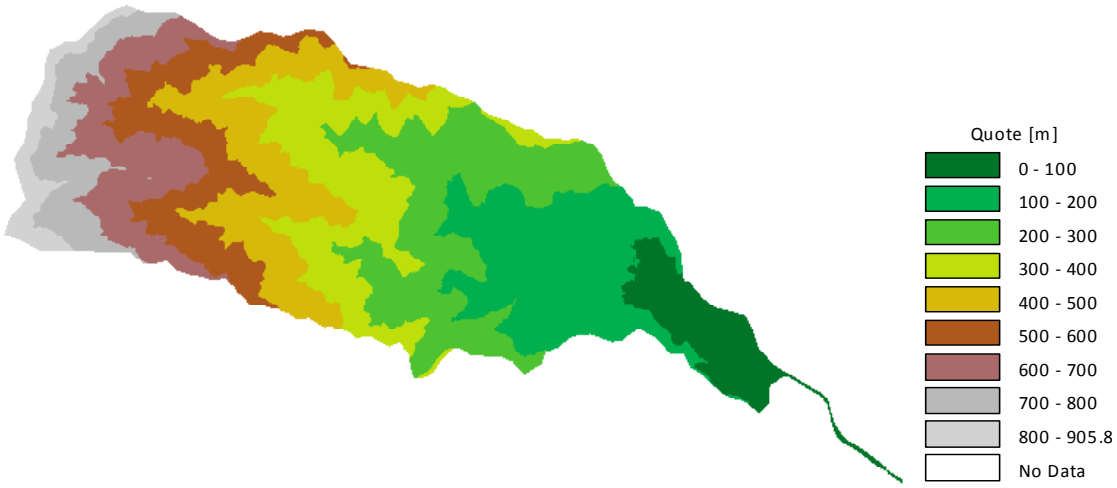

Figura 3 *– Modello digitale del terreno per il bacino dei torrenti Cumia e Bordonaro (2 m ris.).*

Per la caratterizzazione altimetrica e topografica del bacino è stato utilizzato il Modello Digitale del Terreno ATA0708 con risoluzione orizzontale di 2 metri realizzato per l'Assessorato Regionale Territorio e Ambiente della Regione Sicilia e messo a disposizione dall'Amministrazione Comunale (Figure 3 e 4).

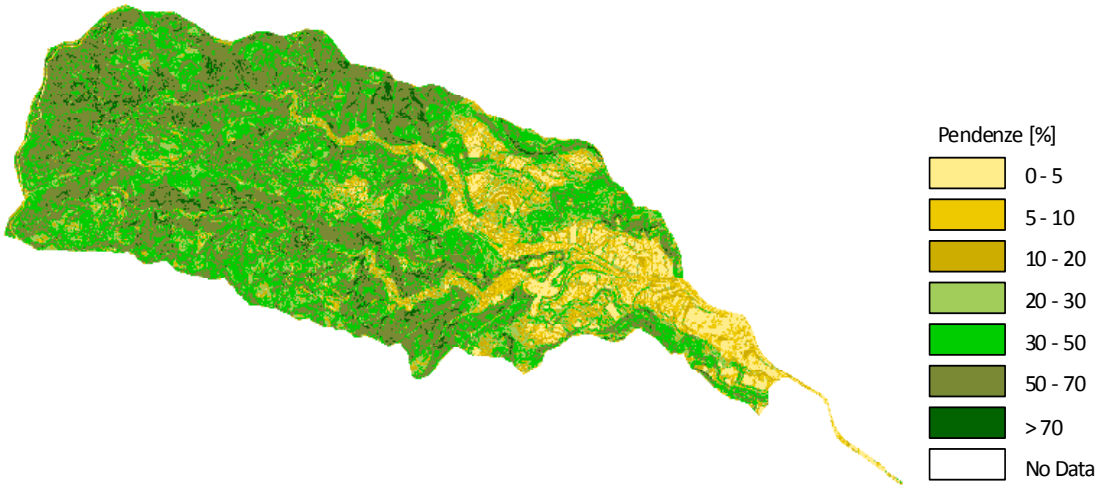

Figura 4 *– Mappa delle pendenze del bacino dei torrenti Cumia e Bordonaro.*

CRITICITÀ IDRAULICHE

Il torrente Bordonaro attraversa i borghi di Nunziatella e Bordonaro, all'interno di argini che presentano un'importante discontinuità poco a monte dell'imbocco del tratto coperto, a partire dalla quale inglobano la Via Cumia che, sterrata, rappresenta l'unica via di accesso (mediante l'attraversamento del torrente) a diverse abitazioni private (Figura 5).



Figura 5 *– Parte del torrente Bordonaro sprovvista di arigini.*

Proseguendo verso monte, dove la Via Cumia diventa Via Bordonaro Superiore, ci si rende conto che gli argini presentano ulteriori aperture che mettono il torrente in collegamento diretto con la strada e le abitazioni private (Figura 6).



Figura 6 *– Tratto del torrente Bordonaro sprovvisto di argini*

In alveo sono presenti inoltre importanti accumuli di materiale detritico (Figura 7), oltre a due attraversamenti particolarmente critici per la quasi totale occlusione che comportano nelle sezioni del ramo in cui si inseriscono (Figura 8).



Figura 7 *– Materiale solido presente in alveo lungo il Torrente Bordonaro.*



Figura 8 *– Attraversamenti presenti in alveo lungo il torrente Bordonaro.*

Il torrente Cumia scorre in un ambiente boschivo nel tratto montano prima di attraversare l'abitato di Cumia Inferiore e proseguire, sempre scoperto, dopo il nucleo abitato di Convito, fino a confluire nel Gazzi (PAI Regione Sicilia, 2002).

Anche a Cumia Inferiore, analogamente a quanto accade a Bordonaro, gli argini del torrente inglobano strade sterrate di accesso ad abitazioni e parcheggi privati (Figura 9), oltre ad essere costituiti, in alcune sezioni, dagli stessi edifici. Sono inoltre presenti due attraversamenti (Figura 10) che, in caso di piene, potrebbero essere causa di rigurgiti della corrente ed di esondazioni di volumi idrici.



Figura 9 *– Alveo del torrente Cumia a Cumia Inferiore con strada sterrata di accesso a parcheggi ed abitazioni private.*



Figura 10 *– Attraversamenti del torrente Cumia a Cumia Inferiore.*

A valle di Cumia Inferiore gli argini continuano ad inglobare strade sterrate (che attraversano il torrente in vari punti), di accesso non soltanto ad abitazioni private, ma anche ad insediamenti produttivi. I muri arginali, inoltre, presentano delle discontinuità che possono causare allagamenti di queste aree edificate (Figura 11).



Figura 11 *– Alveo del Torrente Cumia a valle di Cumia Inferiore (fonte: PAI Regione Sicilia).*

Sia Cumia Inferiore che alcune abitazioni di Bordonaro Superiore sorgono lungo impluvi laterali dei torrenti, essendo così sottoposti al rischio di propagazione di colate lungo le loro strade (Figure 12 e 13).



Figura 12 *– Impluvio laterale a Bordonaro.*



Figura 13 *– Impluvio laterale a Cumia Inferiore.*

2
RISULTATI

SOTTOBACINI ANALIZZATI

Con riferimento ai bacini dei torrenti Cumia e Bordonaro sono state individuate tre sezioni critiche e sono stati delimitati i corrispondenti sottobacini luogo dell'afflusso e del successivo deflusso delle portate liquide che contribuiscono alla formazione degli idrogrammi in ingresso al dominio di calcolo (Figura 14).

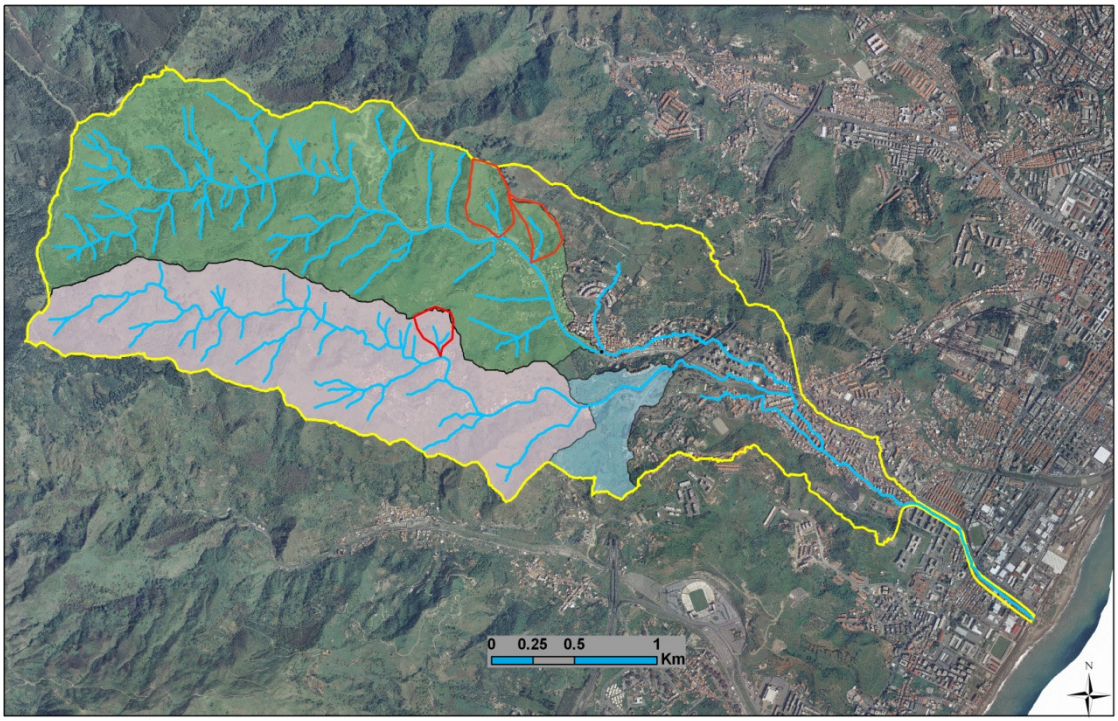

Figura 14 *- Sottobacini dei Torrenti Cumia e Bordonaro analizzati nell'ambito dello studio idrologico.*

Il sottobacino di monte in sinistra idraulica (campito in verde) ha un'estensione di 3.30 Km^2; quello di monte in destra idraulica (campito in rosa) ha una superficie di 2.20 Km^2; infine quello più a valle in destra idraulica, comprensivo anche della parte di monte (campito in rosa e celeste), ha una superficie di circa 2.50 Km^2.

Ai fini della valutazione del rischio di colate detritiche sono stati, altresì, selezionati e analizzati due impluvi ubicati in sinistra idraulica (Bordonaro) la cui estensione è circa pari a 9.4 ha (impluvio di monte) e 6 ha (impluvio di valle) e un impluvio ubicato in destra idraulica (Cumia alto) la cui estensione è circa pari a 4.2 ha (Figura 14, contorni rossi).

IETOGRAMMI DI PROGETTO E PORTATE DI PIENA

Per quanto riguarda i tempi di corrivazione stimati con la formula di Wooding, nella tabella di seguito riportata sono indicati i tempi relativi ai tre sottobacini ed ai tre impluvi precedentemente descritti, per i diversi tempi di ritorno T considerati.

Tabella 1*: Tempi di corrivazione relativi ai tre sottobacini dei torrenti Cumia e Bordonaro analizzati.*

Bacini	**Tempi di corrivazione (minuti)**		
	T = 50 anni	**T = 100 anni**	**T = 300 anni**
Bordonaro (asta principale)	46.0	42.0	36.6
Cumia alto (asta principale)	40.9	37.3	32.5
Cumia basso(asta principale)	47.7	43.5	37.9
Bordonaro (impluvio monte)	5.0	4.5	4.0
Bordonaro (impluvio valle)	6.3	5.8	5.0
Cumia alto (impluvio laterale)	4.1	3.7	3.2

Poiché i tempi di corrivazione risultano sempre inferiori all'ora, per il calcolo delle altezze di pioggia di fissato tempo di ritorno T è stata utilizzata la formula di Ferreri e Ferro.

Si osservi che il valore di a, ottenuto per interpolazione spaziale dei valori locali di a calcolati per le singole stazioni pluviometriche prese in considerazione, risulta pari a 37.164 per il bacino in esame.

La tabella 2 illustra i valori di pioggia totale e pioggia nette ottenuti per i tre sottobacini con riferimento ad i tre tempi di ritorno considerati. Sono, altresì, riportati i valori di CN utilizzati.

Tabella 2*: Precipitazioni totali e nette (in mm) corrispondenti ai tre sottobacini del Torrente Papardo analizzati e valori di Curve Number utilizzati per la stima delle perdite idrologiche.*

Bacini	Precipitazioni totali (mm)			CN	Precipitazioni nette (mm)		
	T = 50	T = 100	T = 300		T = 50	T = 100	T = 300
Bordonaro (asta principale)	81.81	92.96	112.58	72	30.31	37.95	52.35
Cumia alto (asta principale)	78.18	88.83	107.58	72	27.92	35.07	48.58
Cumia basso(asta principale)	82.94	94.24	114.13	72	31.06	38.86	53.53
Bordonaro (impluvio monte)	34.68	39.40	47.72	72	4.98	6.79	10.48
Bordonaro (impluvio valle)	38.03	43.22	52.34	72	6.25	8.41	12.77
Cumia alto (impluvio laterale)	32.11	36.49	44.19	72	4.09	5.65	8.85

Noti i valori delle precipitazioni nette e le durate critiche degli eventi di pioggia, poste pari ai tempi di corrivazione precedentemente calcolati, risultano definite anche le intensità di pioggia nette. In particolare, ipotizzando che l'intensità di pioggia si mantenga costante durante tutta la durata dell'evento, ovvero ipotizzando ietogrammi di progetto di tipo rettangolare, le portate di piena al colmo per i diversi tempi di ritorno considerati sono state valutate applicando la ben nota Formula Razionale.

Nella tabella 3 sono riportati i valori delle portate di piena al colmo e dei volumi di piena relativi ai sottobacini considerati per i diversi tempi di ritorno.

Tabella 3*: Portate di piena al colmo e volumi di piena relativi ai sottobacini considerati.*

Bacini	Portate al colmo (m^3/s)			Volumi piena ($10^3 m^3$)		
	T = 50	T = 100	T = 300	T = 50	T = 100	T = 300
Bordonaro (asta principale)	36.21	49.70	78.68	99.94	125.24	172.78
Cumia alto (asta principale)	24.96	34.36	54.63	61.25	76.90	106.53
Cumia basso(asta principale)	26.98	37.00	58.51	77.22	96.57	133.05
Bordonaro (impluvio monte)	1.56	2.33	4.13	0.47	0.63	0.99
Bordonaro (impluvio valle)	0.98	1.45	2.52	0.37	0.50	0.76
Cumia alto (impluvio laterale)	0.70	1.06	1.91	0.17	0.24	0.37

ANALISI IDRAULICHE

Il torrente Cumia, come si è detto, presenta una serie di criticità per modellare le quali è stato necessario ricorrere a schemi mono e bidimensionali, suddividendolo in ben tre zone: la zona in corrispondenza dell'abitato di Cumia Inferiore potenzialmente soggetta a colate detritiche (provenienti dagli impluvi laterali), per la quale è stata utilizzata una modellazione bidimensionale; il tratto di torrente all'altezza di Cumia Inferiore delimitato da argini dove il moto della corrente può considerarsi praticamente monodimensionale, modellato utilizzando Hec-RAS per poter trattare con maggior dettaglio gli attraversamenti presenti; il tratto di torrente a valle dell'abitato (fino all'imbocco della copertura), con argini discontinui che possono causare l'allagamento delle abitazioni e degli insediamenti produttivi limitrofi, modellato nuovamente con modellazione bidimensionale.

Per il torrente Bordonaro, vista la presenza degli impluvi laterali e della parte urbanizzata, la modellazione idraulica è stata condotta utilizzando l'approccio bidimensionale.

TORRENTE CUMIA

Modellazione bidimensionale

Con l'analisi ed il rilievo dei luoghi, è stato possibile definire i contorni delle aree potenzialmente inondabili, indicate in Figura 15.

L'applicazione del modello bidimensionale (cfr. Relazione Generale) ha richiesto la generazione di una griglia (mesh) a elementi triangolari che comprendesse l'area potenzialmente allagabile e descrivesse correttamente la topografia e la morfologia dell'area in studio.

Diversi studi hanno messo in evidenza che errori nella definizione delle quote topografiche dei nodi di calcolo possono portare a inaffidabilità e incertezza nelle risposte del modello.

La mesh è stata costruita con l'ausilio del software ArgusOne. Infine, nel posizionare i nodi si è considerata prioritaria la corretta riproduzione del corso d'acqua principale, delle sponde e dei muri d'argine e di tutte le infrastrutture presenti in alveo (tombini, attraversamenti).

Le aree sono state discretizzate con due mesh: la prima costituita da 25537 elementi triangolari sulla base di 14299 nodi con una dimensione media dell'elemento pari a circa 1.7 m^2(**Cumia alta**); la seconda costituita da 30555 elementi triangolari sulla base di 16340 nodi con una dimensione media dell'elemento pari a circa 4.3 m^2(**Cumia bassa**). In tabella 4 si sintetizzano le caratteristiche dei domini e delle mesh.

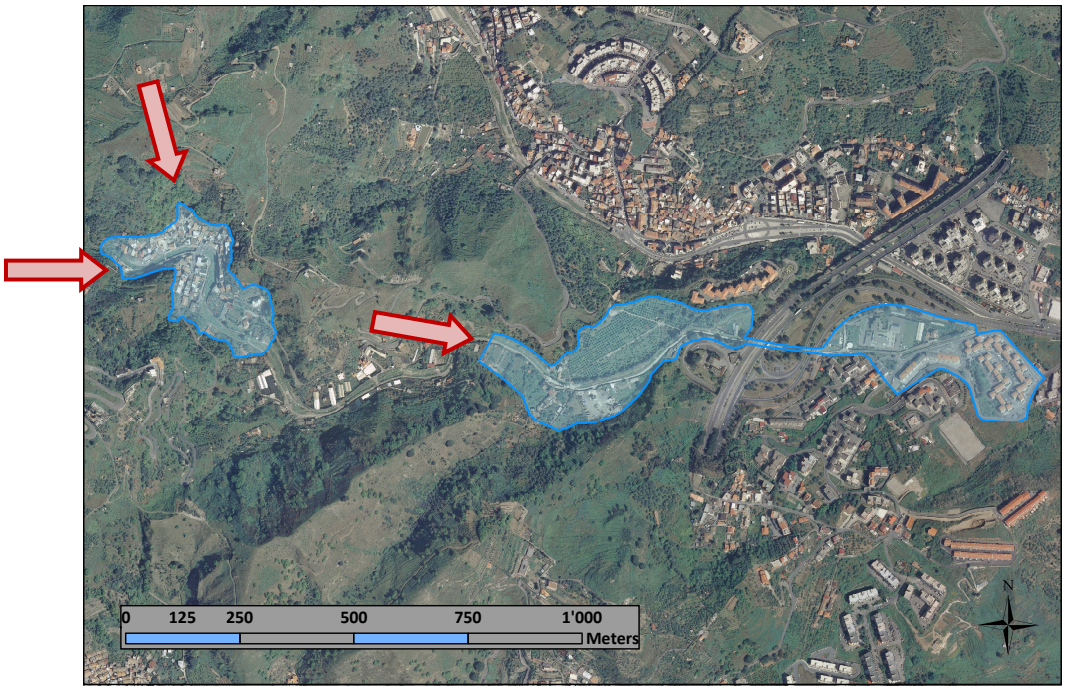

Figura 15 *– Limite del dominio di calcolo con indicazione dei punti di immissione delle portate.*

Tabella 4 *– Riepilogo delle caratteristiche delle mesh di calcolo.*

	Area del dominio (ha)	**Numero di elementi**	**Numero di nodi**	**Area media degli elementi (m2)**
Cumia alta	4.46	25537	14299	1.74
Cumia bassa	13.04	30555	16340	4.26

Per la caratterizzazione altimetrica del dominio di calcolo è stato sempre utilizzato il Modello Digitale del Terreno ATA0708 con risoluzione a 2 metri.

Sono stati inoltre inseriti nel modello i muri arginali e gli edifici e, considerate le pendenze degli impluvi, sono state implementate le leggi di resistenza relative alla propagazione di colate detritiche sia immatura sia mature(cfr. Relazione Generale).

Le condizioni al contorno riguardano i valori delle portate entranti nel dominio di calcolo e la conseguente forma degli idrogrammi di piena. Nelle simulazioni effettuate è stata considerata una condizione di moto permanente, condizione per la quale l'idrogramma di piena risulta a portata costante nel tempo. Le portate utilizzate sono quelle calcolate per valori del tempo di ritorno di 50, 100, e 300 anni per i deflussi solidi (Tabella 5).

Per la valutazione delle portate solide (Tabella 5) sono stati utilizzati fattori di amplificazione delle portate liquide differenti per i diversi sottobacini in funzione delle pendenze degli alvei (cfr. Relazione Generale).

Tabella 5*: Sintesi delle portate utilizzate nelle simulazioni ai diversi tempi di ritorno, con indicazione del fattore di amplificazione e della legge di resistenza implementata.*

Portate utilizzate nelle simulazioni						
	T = 50 anni		T = 100 anni		T = 300 anni	
	Q_l [m^3/s]	Q_s [m^3/s]	Q_l [m^3/s]	Q_s [m^3/s]	Q_l [m^3/s]	Q_s [m^3/s]
Cumia alta (impluvio)	0.70	1.69	1.06	2.55	1.91	4.59
Cumia alta (asta principale)	24.25	32.99	33.66	45.78	53.93	73.35
Cumia bassa (asta principale)	26.98	36.70	37.00	50.33	58.51	79.57

2.40 Debris flow maturo

1.36 Debris flow immaturo

Modellazione monodimensionale

La modellazione monodimensionale del corso d'acqua è stata condotta utilizzando il codice di calcolo HEC-RAS. I dati di input geometrici utilizzati per la modellazione di HEC-RAS sono stati estratti dal Modello Digitale del Terreno LIDAR con risoluzione a 2 metri messo a disposizione dall'Amministrazione Comunale, oltre che dalla cartografia di base a scala 1:2000.

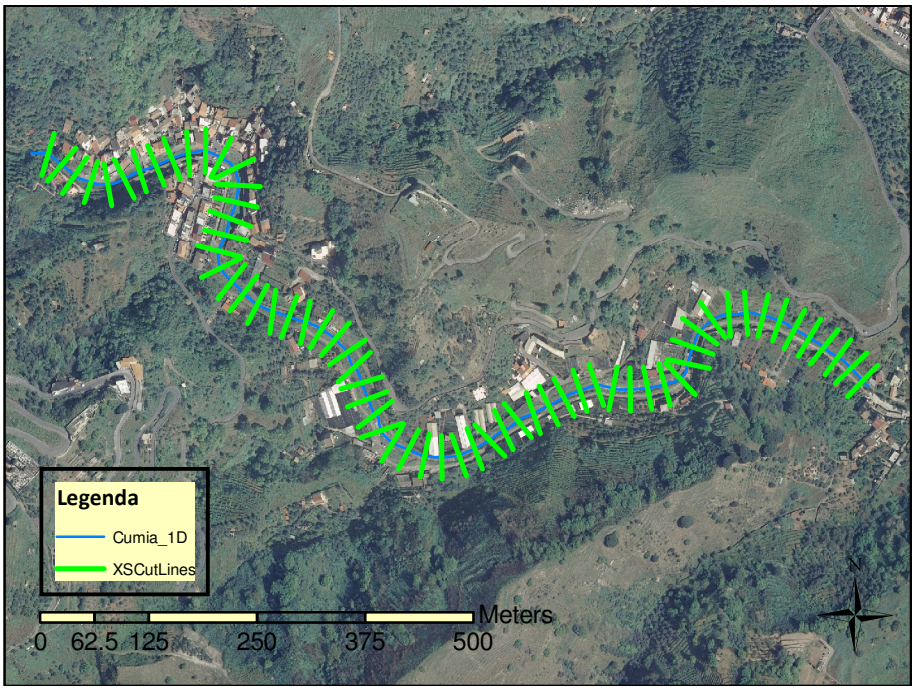

Figura 16 *– Modello preliminare della geometria del Torrente Cumia realizzato con Hec-Geo-RAS.*

Il tratto modellato è stato discretizzato in sezioni trasversali con equidistanza di 20 metri (Figura 16). Le caratteristiche geometriche degli attraversamenti e delle coperture, cosi come delle opere presenti in alveo che possono avere una qualunque influenza sul moto delle

correnti di piena, sono stati rilevate da misure dirette di campo effettuate durante sopralluoghi.

In Hec-RAS sono state quindi aggiunte, le informazioni così rilevate relative ai muri d'argine, agli attraversamenti ed alle infrastrutture e agli edifici presenti lungo le sponde (Figura 17).

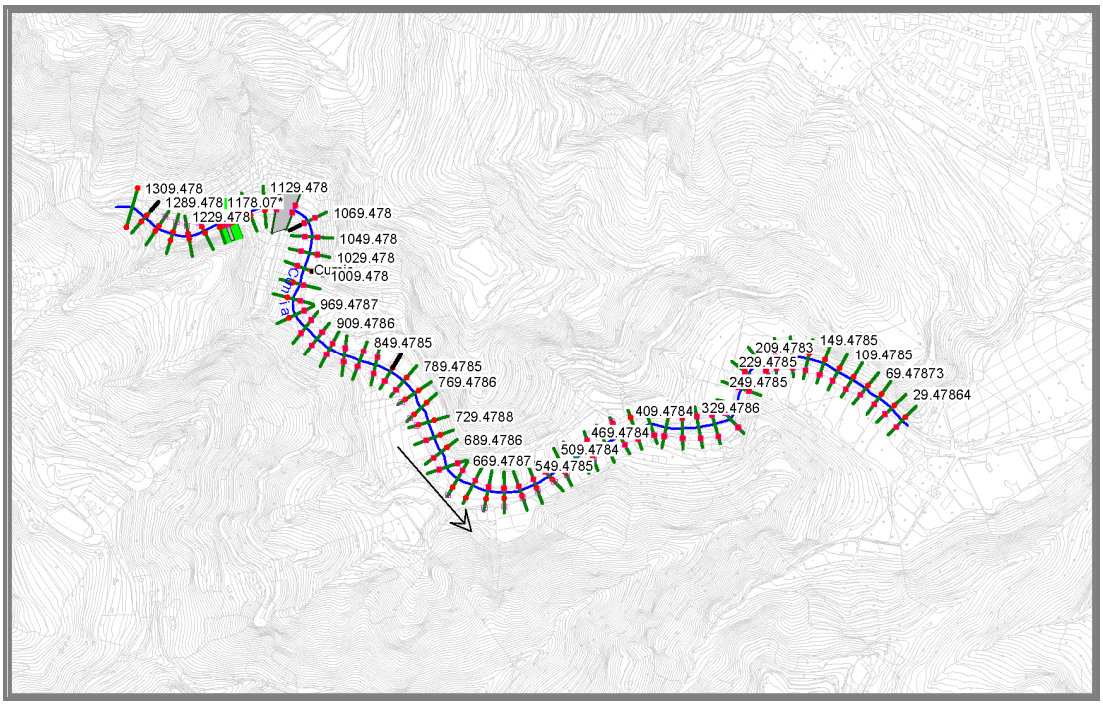

***Figura 17** – Geometria del modello realizzato in Hec-RAS.*

Per la simulazione idraulica il modello monodimensionale è stato applicato nell'ipotesi di regime di moto permanente. Sono state condotte tre simulazioni, una per ogni portata al colmo di piena per fissato tempo di ritorno (50, 100 e 300 anni).

Relativamente alle caratteristiche di resistenza idraulica è noto che esse si differenziano secondo che la sede di deflusso sia l'alveo stesso o le aree ad esso esterne (aree di allagamento).

***Tabella 6**: Sintesi delle portate utilizzate nelle simulazioni ai diversi tempi di ritorno nel modello monodimensionale.*

Portate utilizzate nelle simulazioni							
	T = 50 anni		T = 100 anni		T = 300 anni		
	Q_l [m^3/s]	Q_s [m^3/s]	Q_l [m^3/s]	Q_s [m^3/s]	Q_l [m^3/s]	Q_s [m^3/s]	
Cumia alta (asta principale)	24.96	33.94	34.36	46.73	54.63	74.30	**1.36**

Nel primo caso, le caratteristiche dipendono principalmente dalle dimensioni del materiale di fondo, dalla presenza e qualità della vegetazione fluviale e dalla morfologia plano-altimetrica delle sezioni e del tracciato fluviale. Per le superfici limitrofe e di allagamento giocano un ruolo determinante la natura del suolo, la copertura vegetale, la densità delle infrastrutture e delle costruzioni (macro scabrezza) e le irregolarità naturali della superficie.

I parametri di scabrezza utilizzati nel modello monodimensionale sono stati dedotti dall'esame delle Ortofoto ATA 07/08 e dalle osservazioni fatte in occasione dei sopralluoghi effettuati. Quanto detto ha condotto alla scelta dei valori del coefficiente di Manning riportati nella Tabella 7. Si fa notare che nelle aree esterne sono stati utilizzati valori del coefficiente di Manning più contenuti rispetto a quelli in alveo poiché si tratta di aree caratterizzate da superfici molto lisce (pavimentazioni stradali). In generale però i valori scelti sono più elevati di quelli normalmente proposti in letteratura poiché si tiene conto del fatto che il moto della corrente avviene spesso in condizioni di macroscabrezza e con un possibile trasporto di materiali grossolani (detriti vari, vegetazione, rifiuti solidi, ecc.).

***Tabella 7**:– Scabrezze utilizzate nella modellazione monodimensionale.*

Coefficienti di Manning ($m^{-1/3}$ s)	
Alveo	0.050
Aree esterne	0.025

Per ogni simulazione sono state quindi ricavate la massime quote raggiunte del pelo libero e l'andamento spaziale delle massime velocità medie della corrente in ciascuna sezione trasversale.

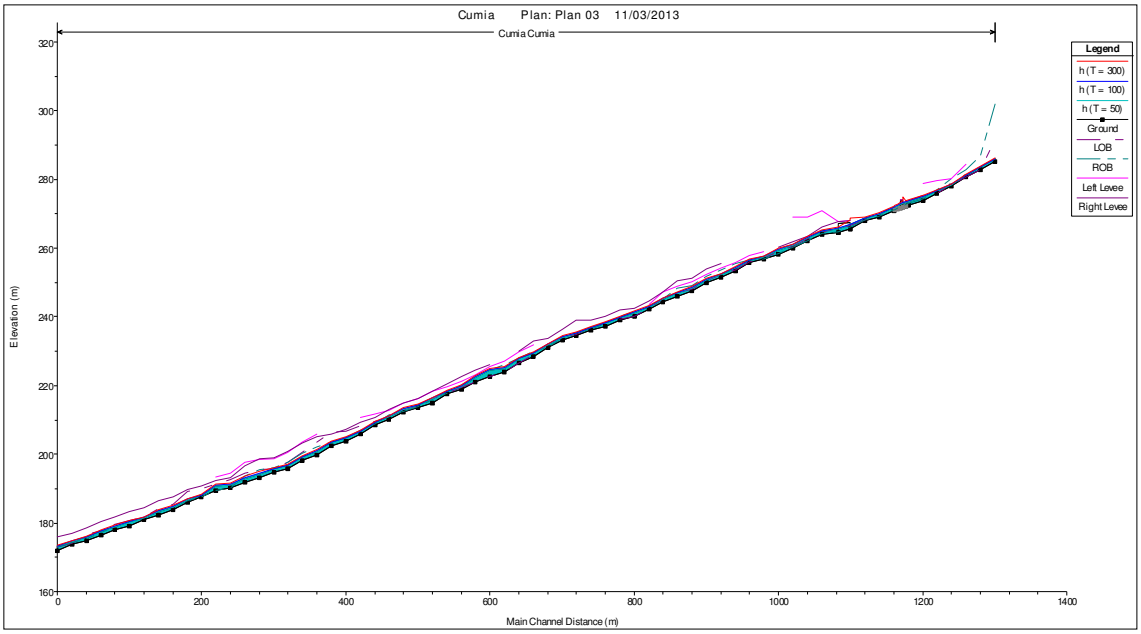

***Figura 18** – Andamento profili di corrente lungo il tratto modellato.*

L'esito delle verifiche idrauliche effettuate è mostrato nella Figura 18 che riporta i profili di corrente in moto permanente per le diverse portate di calcolo.

TORRENTE BORDONARO

Con l'analisi ed il rilievo dei luoghi, è stato possibile definire i contorni delle aree potenzialmente inondabili, indicate in Figura 19.

L'applicazione del modello bidimensionale (cfr. Relazione Generale) ha richiesto la generazione di una griglia (mesh) a elementi triangolari che comprendesse l'area potenzialmente allagabile e descrivesse correttamente la topografia e la morfologia dell'area in studio.

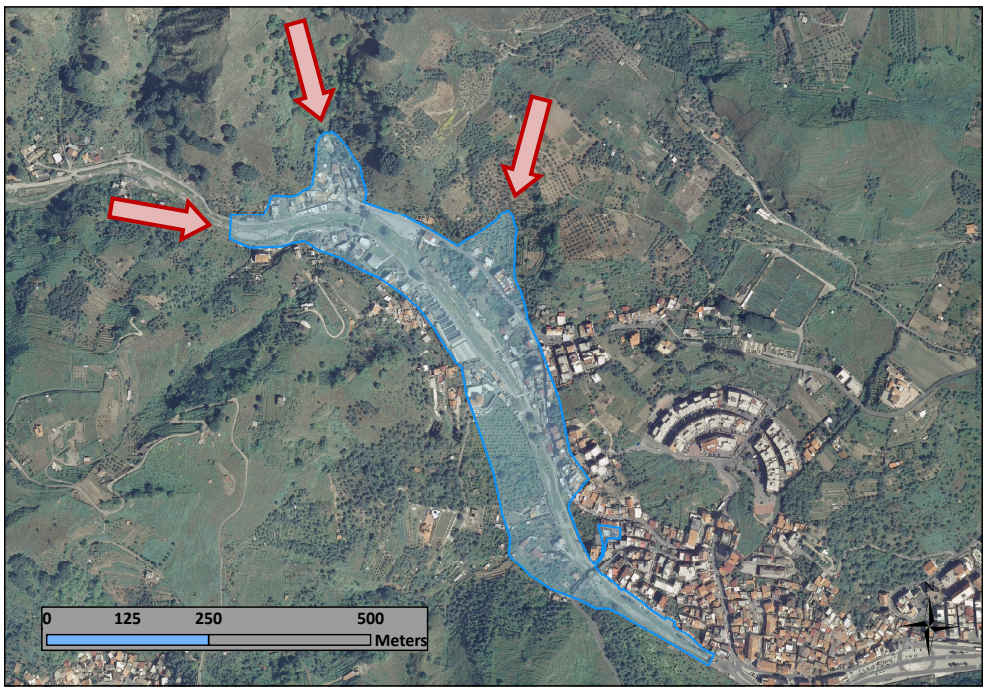

Figura 19 *– Limite del dominio di calcolo con indicazione dei punti di immissione delle portate.*

L'area è stata discretizzata con una mesh costituita da 40209 elementi triangolari sulla base di 21615 nodi con una dimensione media dell'elemento pari a circa 2.5 m^2. In tabella 8 si sintetizzano le caratteristiche del dominio e della mesh.

Tabella 8*: Riepilogo delle caratteristiche della mesh di calcolo.*

Area del dominio (ha)	Numero di elementi	Numero di nodi	Area media degli elementi (m^2)
9.9	40209	21615	2.46

Per la caratterizzazione altimetrica del dominio di calcolo è stato sempre utilizzato il Modello Digitale del Terreno ATA0708 con risoluzione a 2 metri.

Sono stati inoltre inseriti nel modello i muri arginali e gli attraversamenti presenti in alveo e sono state implementate le leggi di scabrezza relative alla propagazione di colata detritica immatura (cfr. Relazione Generale).

Le portate utilizzate sono quelle calcolate per valori del tempo di ritorno di 50, 100, e 300 anni per i deflussi solidi (Tabella 9).

Tabella 9*: Sintesi delle portate utilizzate nelle simulazioni ai diversi tempi di ritorno, con indicazione del fattore di amplificazione e della legge di resistenza implementata.*

Portate utilizzate nelle simulazioni						
	T = 50 anni		T = 100 anni		T = 300 anni	
	Q_l [m^3/s]	Q_s [m^3/s]	Q_l [m^3/s]	Q_s [m^3/s]	Q_l [m^3/s]	Q_s [m^3/s]
Bordonaro (impluvio laterale monte)	1.56	3.74	2.33	5.60	4.13	9.91
Bordonaro (impluvio laterale valle)	0.98	2.35	1.45	3.47	2.52	6.05
Bordonaro (asta principale)	33.67	45.79	45.92	62.45	72.03	97.96

2.40 Debris flow immaturo

1.36 Debris flow immaturo

Per la valutazione delle portate solide (Tabella 9) sono stati utilizzati fattori di amplificazione delle portate liquide differenti per i diversi sottobacini in funzione delle pendenze degli alvei (cfr. Relazione Generale).

REDAZIONE DELLE MAPPE

I risultati delle diverse simulazioni condotte hanno permesso di redigere delle mappe che riportano la distribuzione spaziale di tutte le informazioni idrodinamiche relative al passaggio dell'onda di piena, per fornire una completa informazione sulla pericolosità idraulica sotto le diverse condizioni per l'area oggetto di studio.

Di seguito sono riportati nelle Figure 20-25 e 27-32 i risultati relativi alle simulazioni effettuate per i tempi di ritorno di 50, 100, e 300 anni, ovvero le mappe che riportano l'inviluppo delle massime altezze d'acqua e dei massimi prodotti altezza idrica-velocità media della corrente che si manifestano nei nodi e negli elementi dei diversi domini di calcolo durante l'intero svolgersi della simulazione.

In accordo con la metodologia indicata nel P.A.I., la definizione dei livelli di pericolosità presenti sull'area oggetto di studio, con riferimento all'entità delle inondazioni valutate, è stata effettuata in base al valore dei tiranti idrici e del tempo di ritorno (Figure 26 e 33).

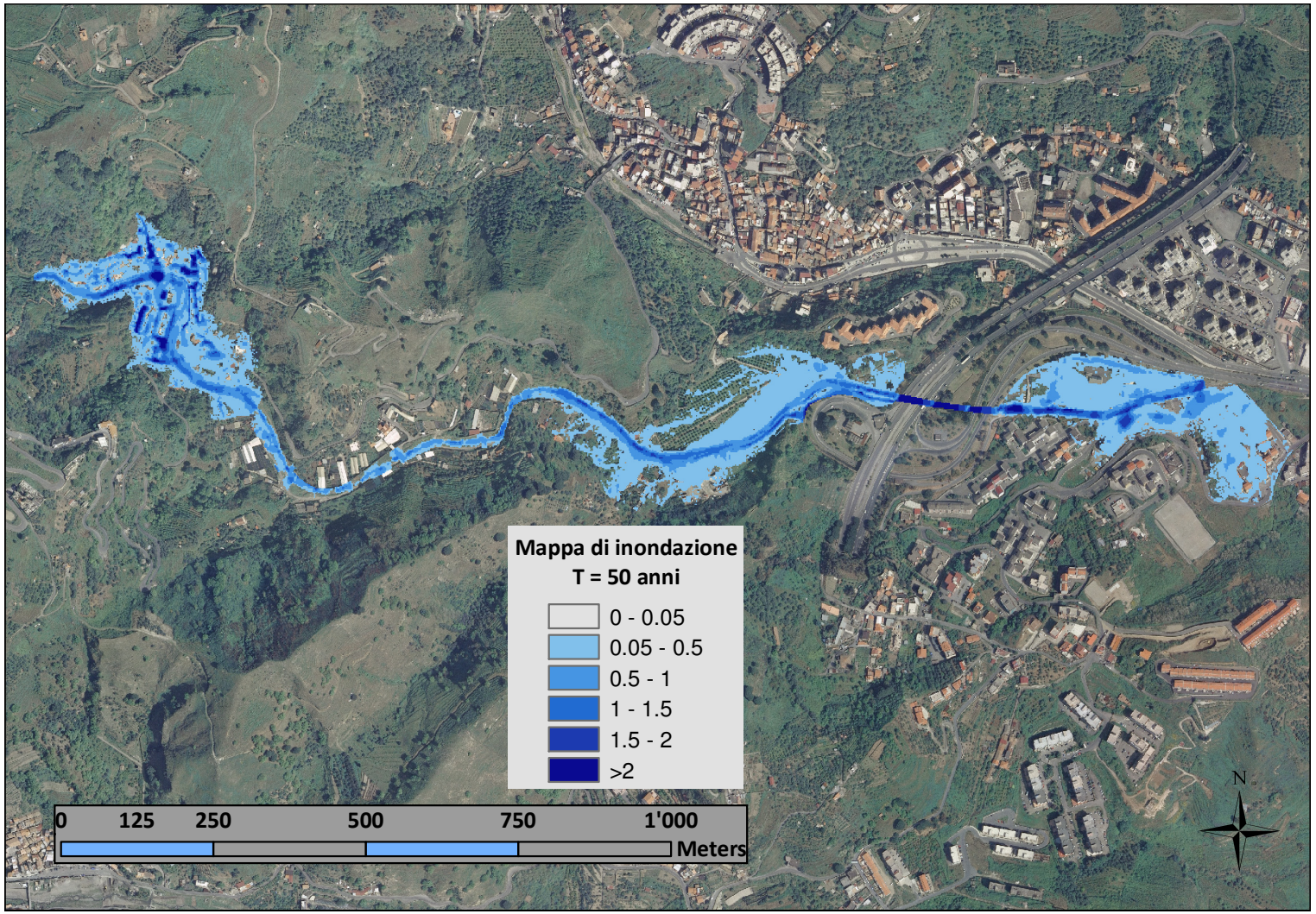

Figura 20 *– Mappa di inondazione del Torrente Cumia (T = 50 anni).*

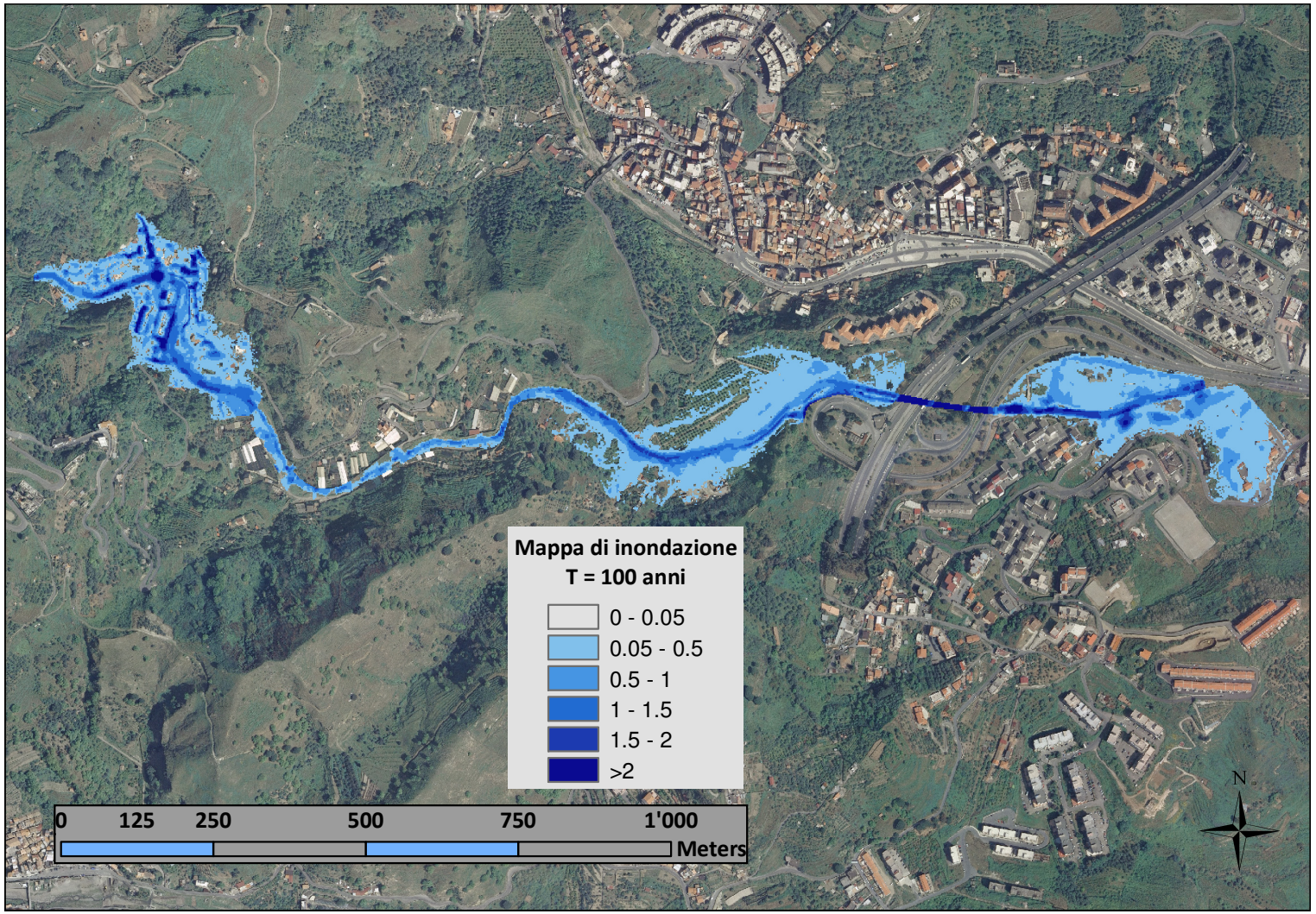

Figura 21 *– Mappa di inondazione del Torrente Cumia (T = 100 anni).*

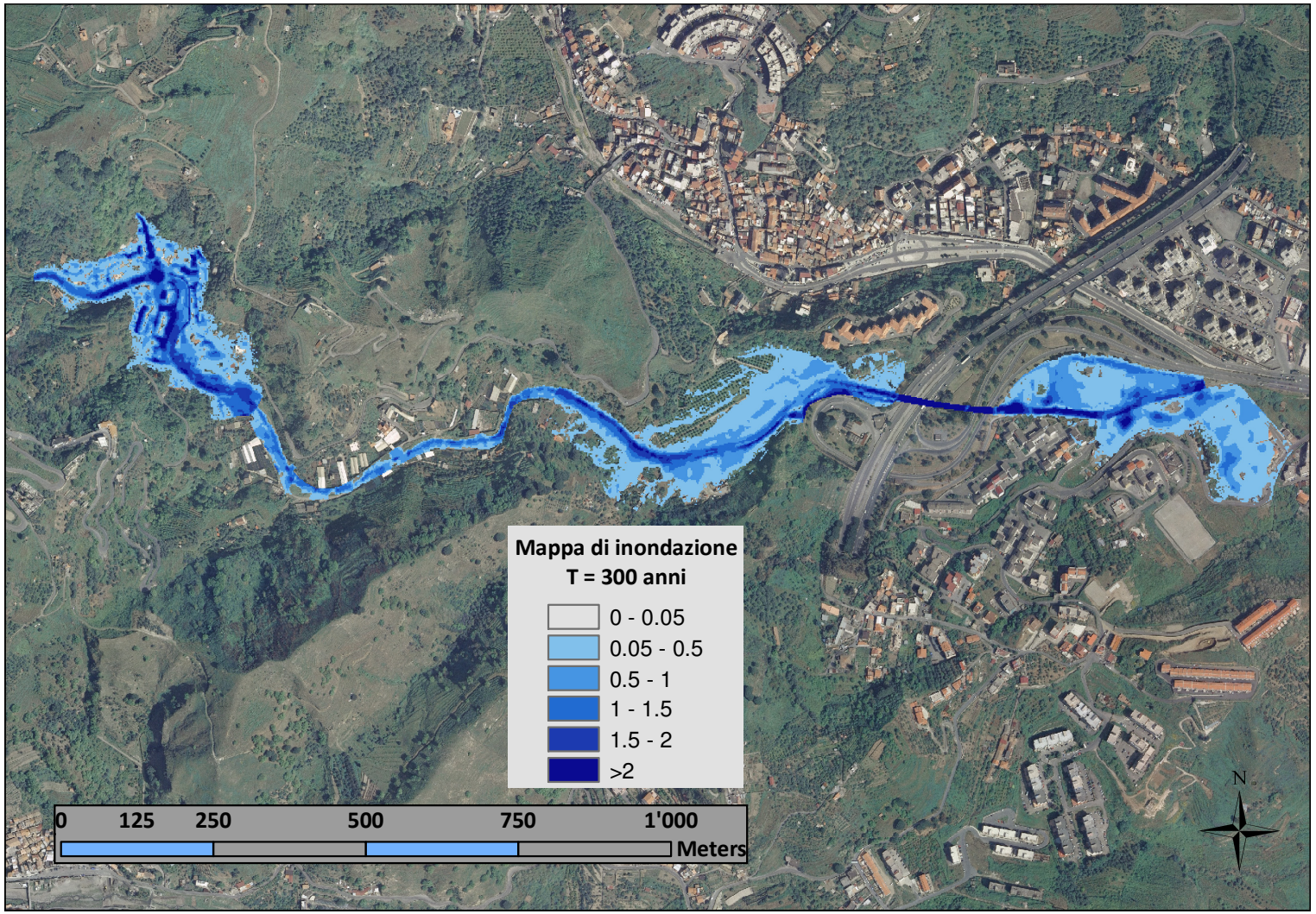

Figura 22 *– Mappa di inondazione del Torrente Cumia (T = 300 anni).*

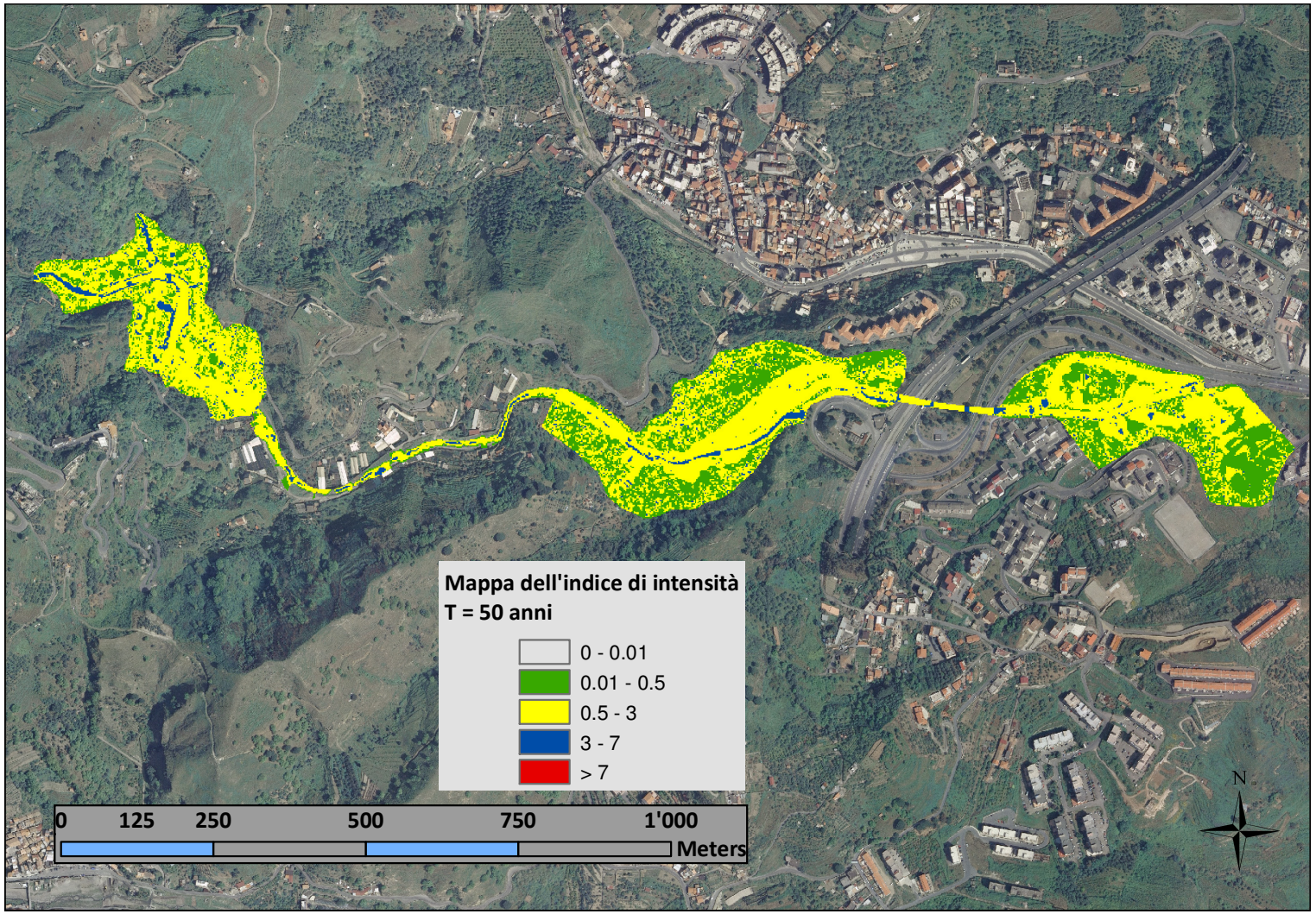

Figura 23 *– Mappa dell'indice di intensità del Torrente Cumia (T = 50 anni).*

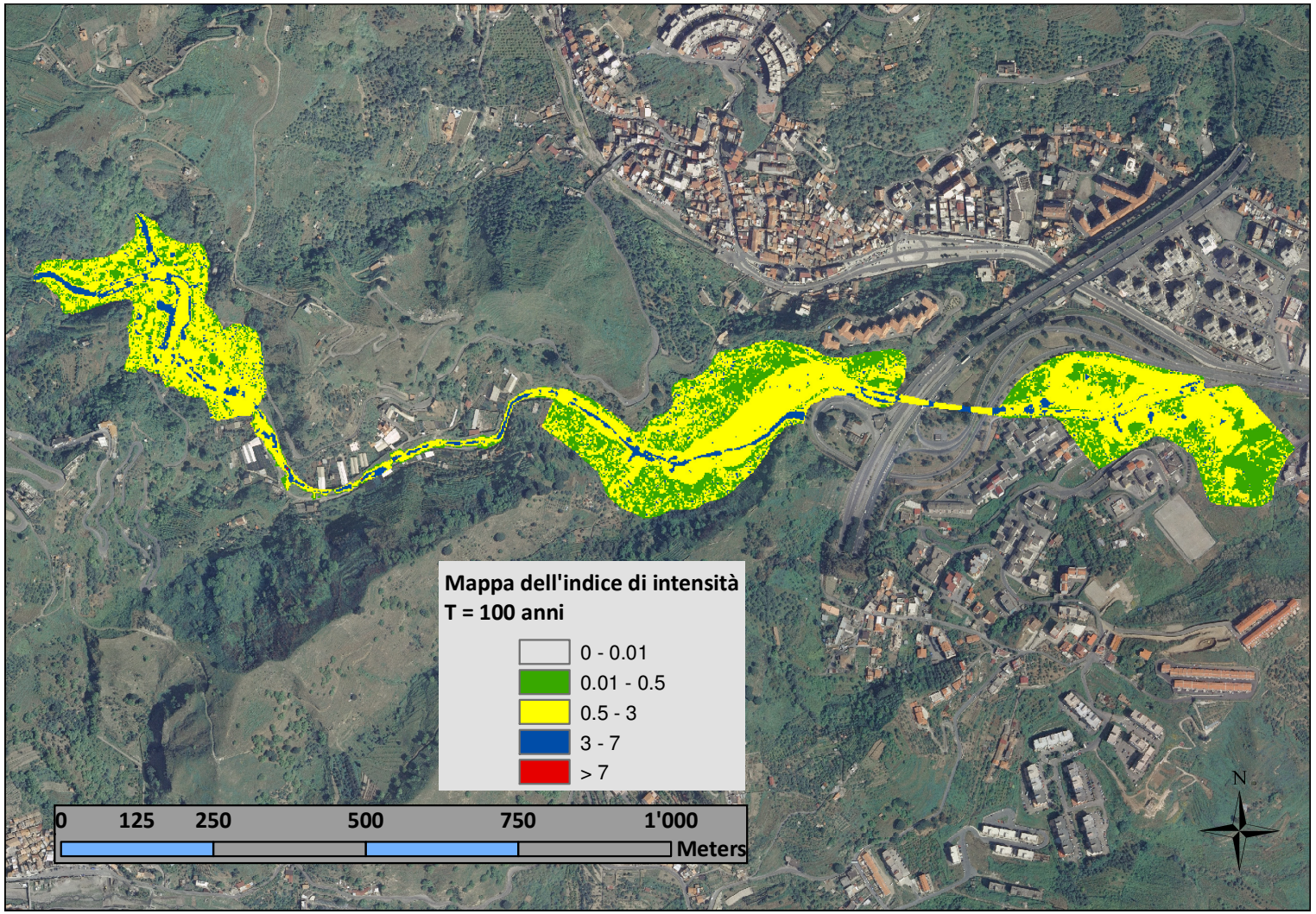

Figura 24 *– Mappa dell'indice di intensità del Torrente Cumia (T = 100 anni).*

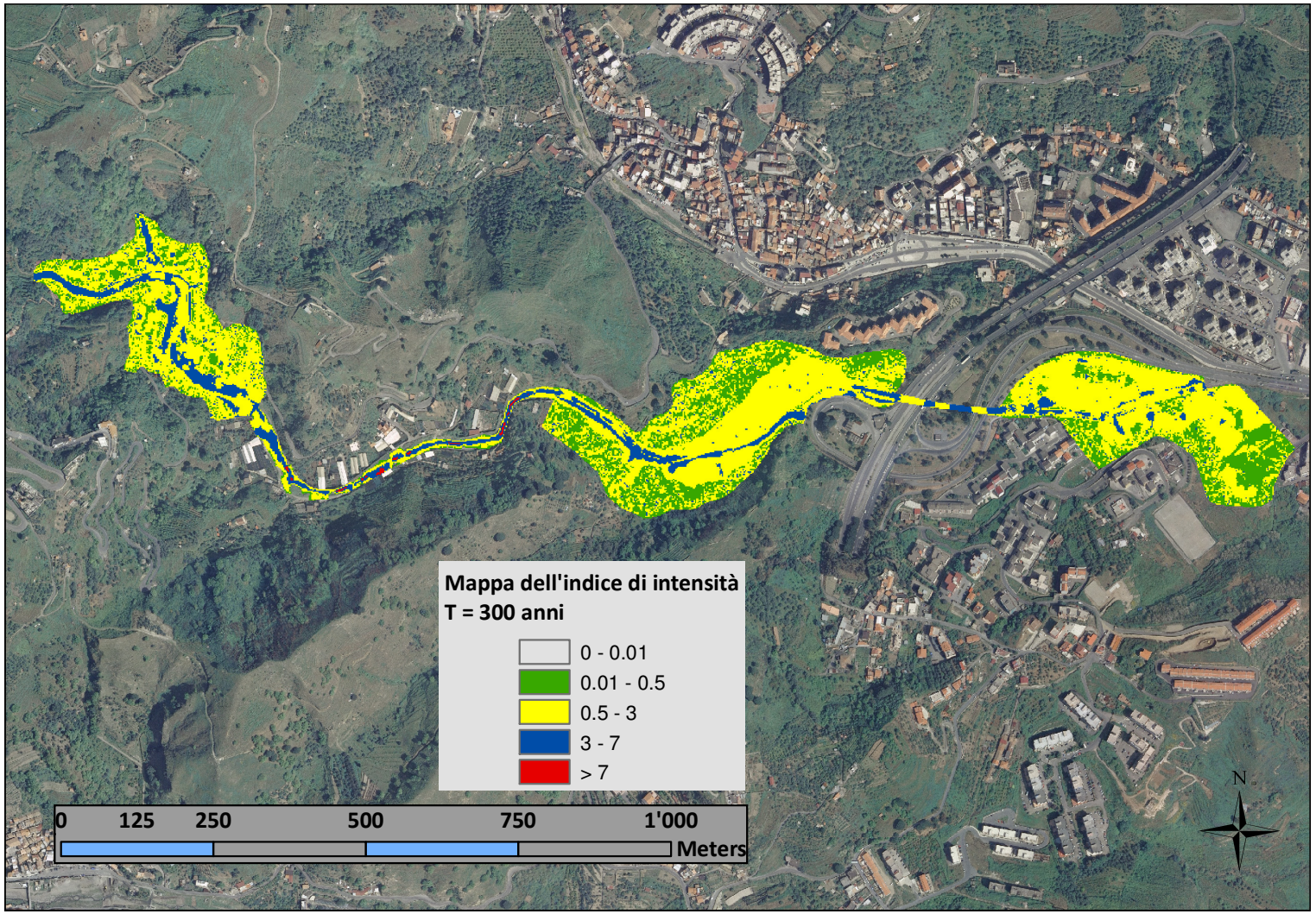

Figura 25 *– Mappa dell'indice di intensità del Torrente Cumia (T = 300 anni).*

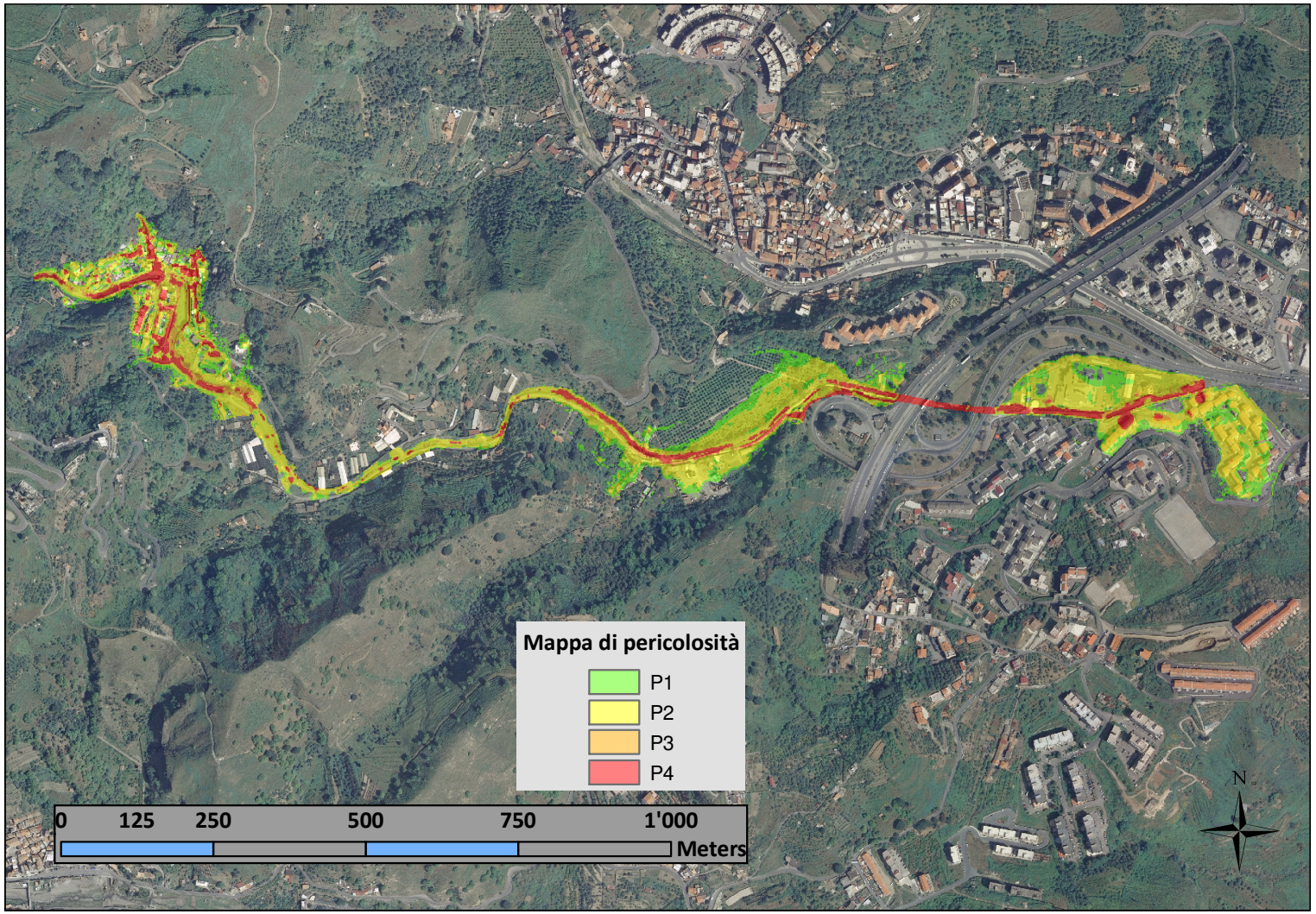

Figura 26 *– Mappa di pericolosità del Torrente Cumia.*

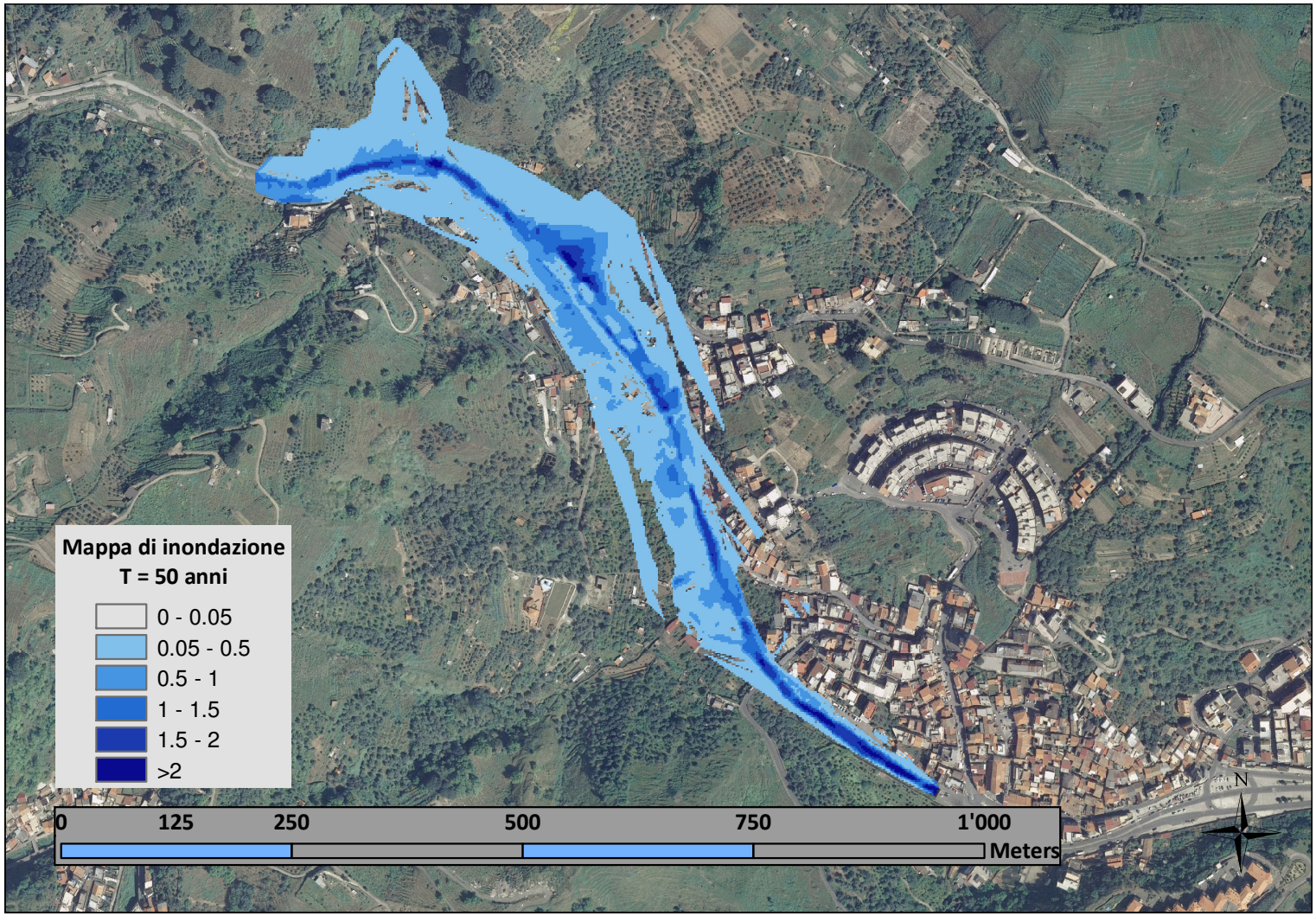

Figura 27 *– Mappa di inondazione del Torrente Bordonaro (T = 50 anni).*

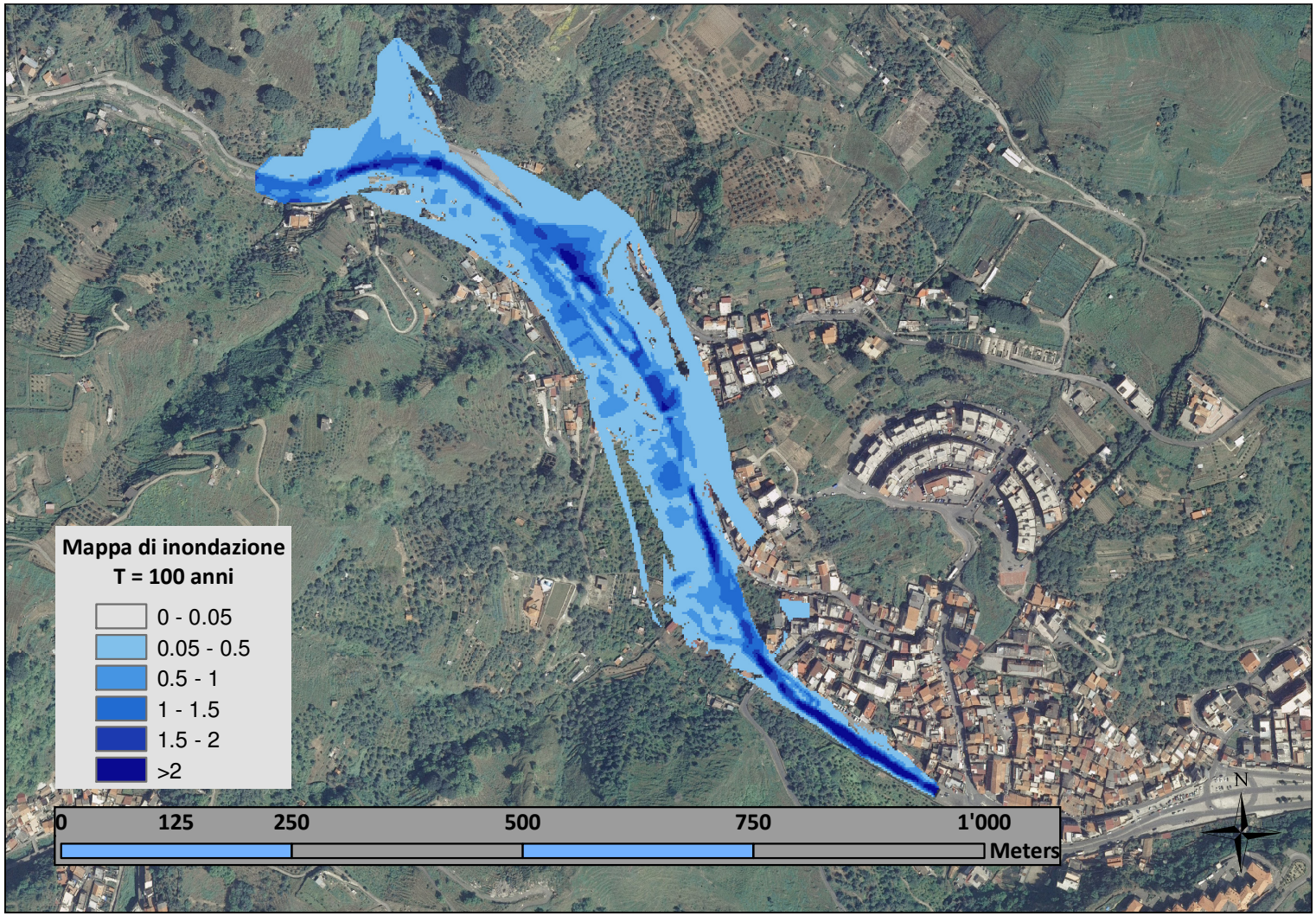

Figura 28 *– Mappa di inondazione del Torrente Bordonaro (T = 100 anni).*

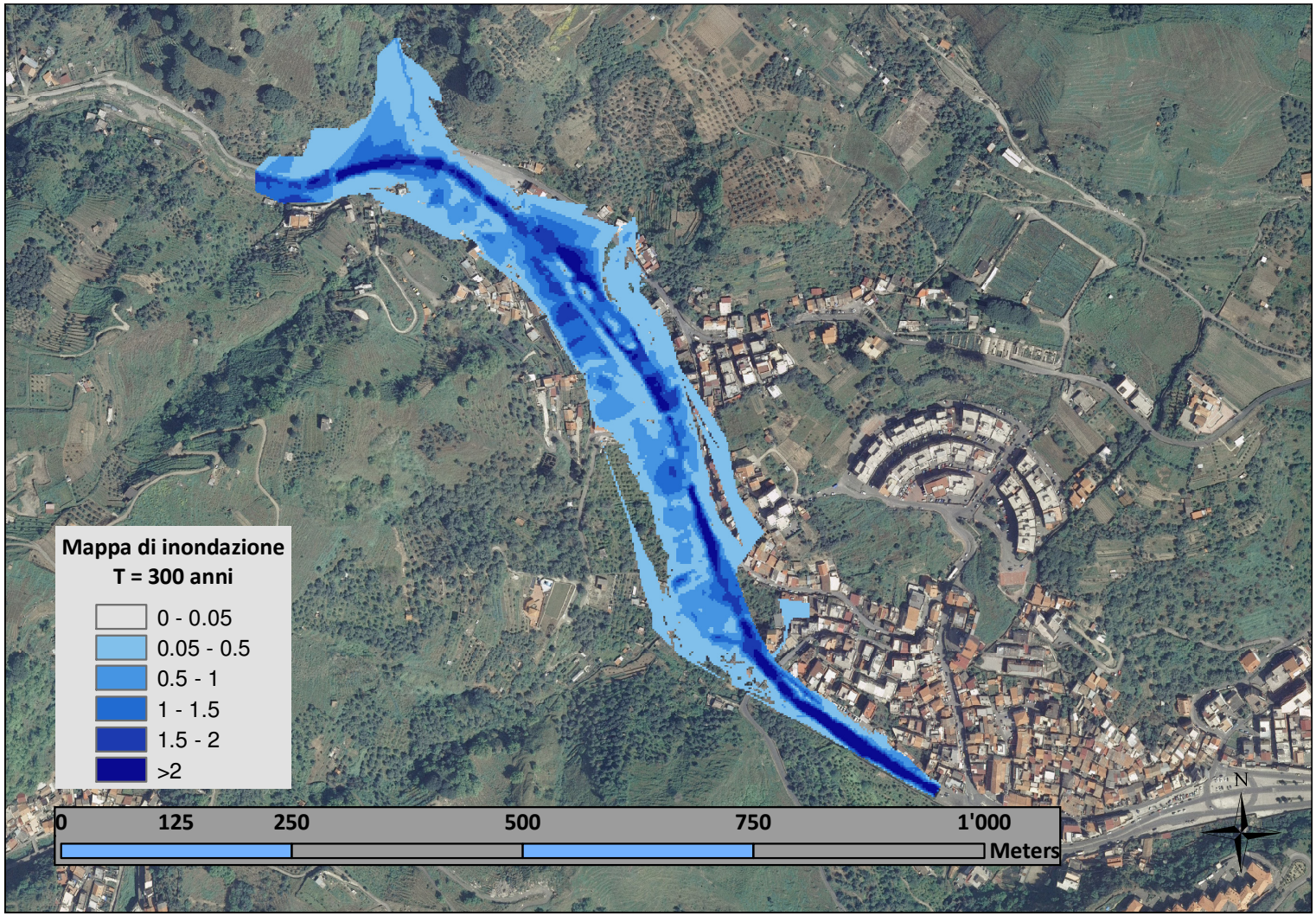

Figura 29 *– Mappa di inondazione del Torrente Bordonaro (T = 300 anni).*

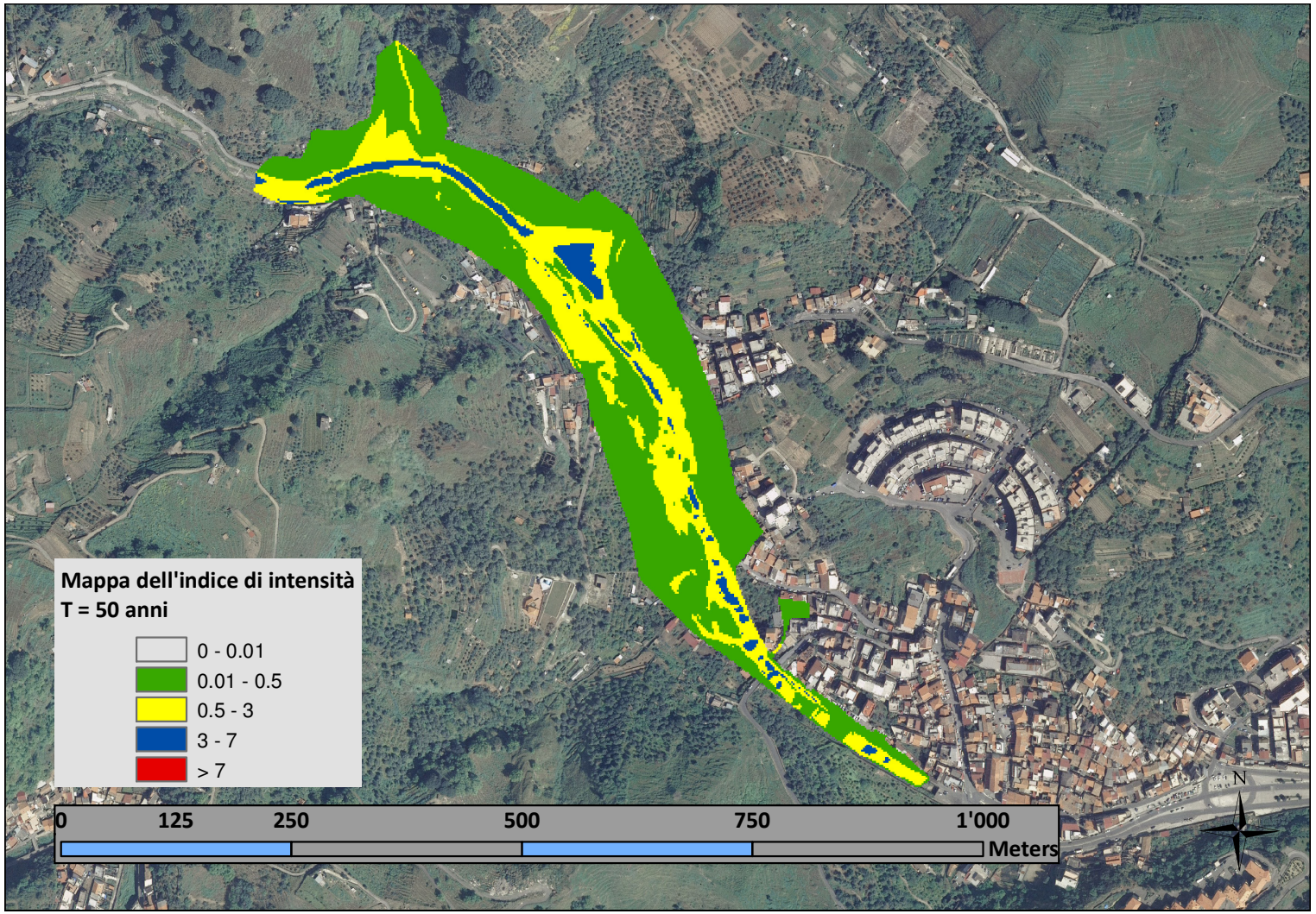

Figura 30 *– Mappa dell'indice di intensità del Torrente Bordonaro (T = 50 anni).*

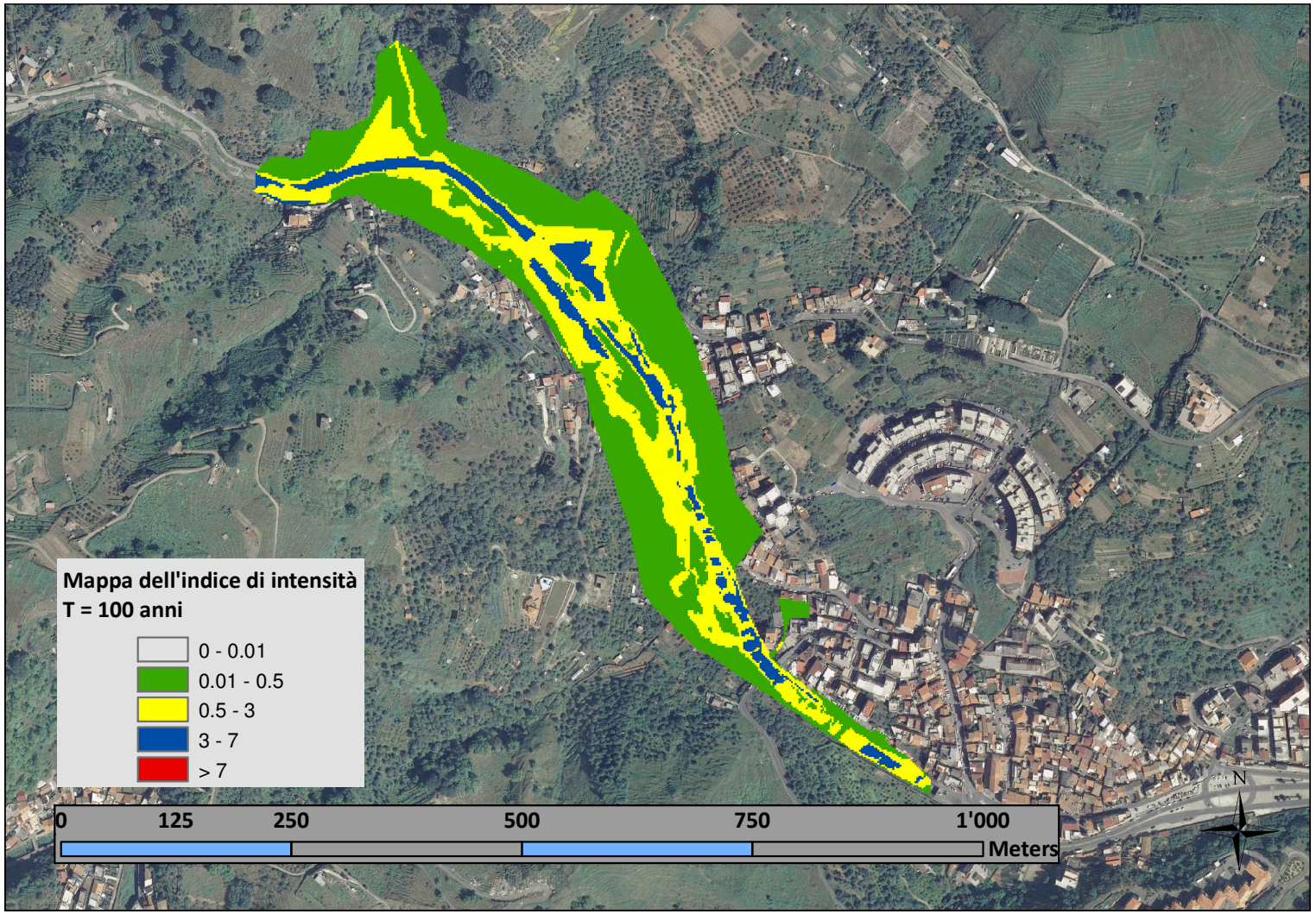

Figura 31 *– Mappa dell'indice di intensità del Torrente Bordonaro (T = 100 anni).*

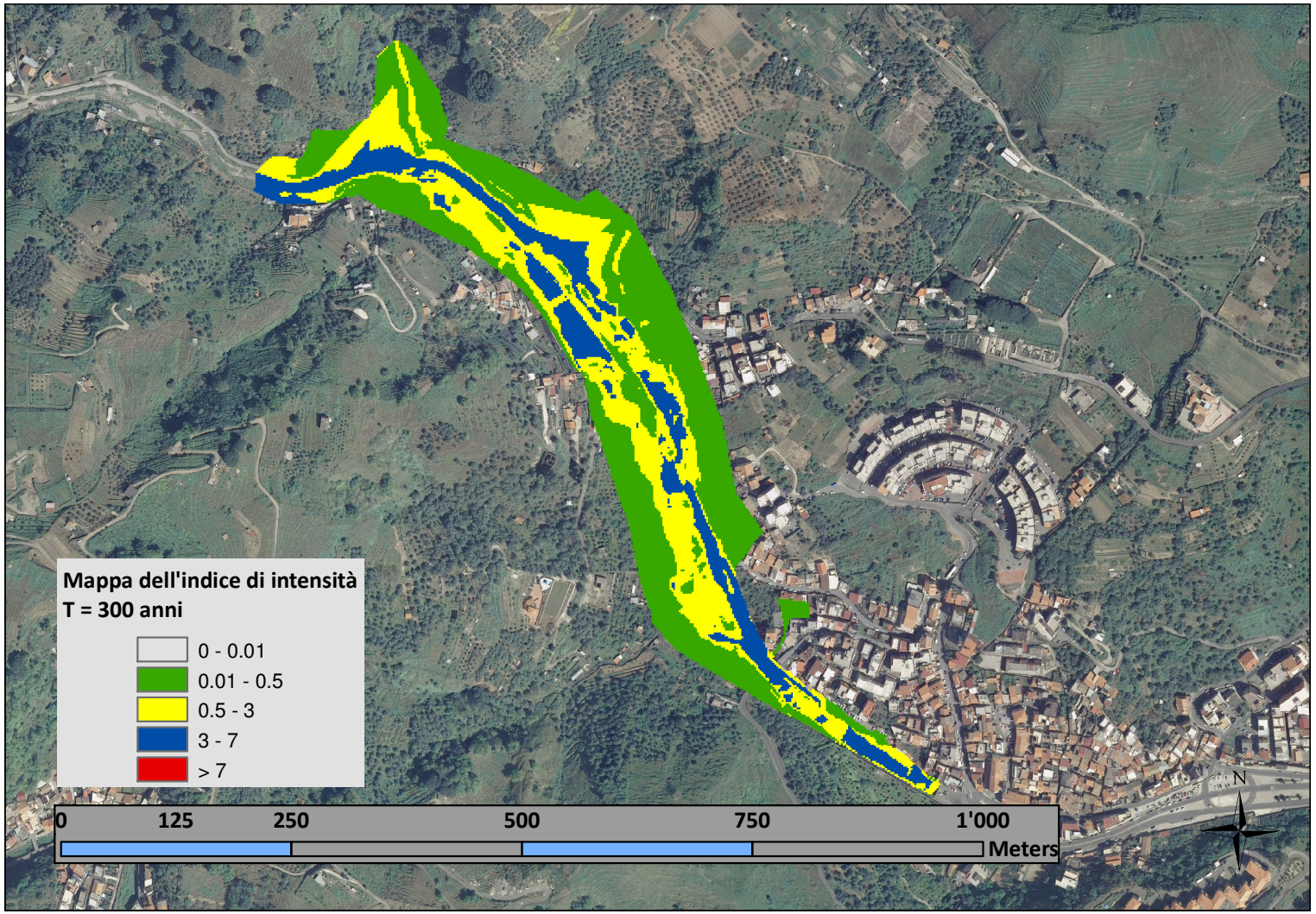

Figura 32 *– Mappa dell'indice di intensità del Torrente Bordonaro (T = 300 anni).*

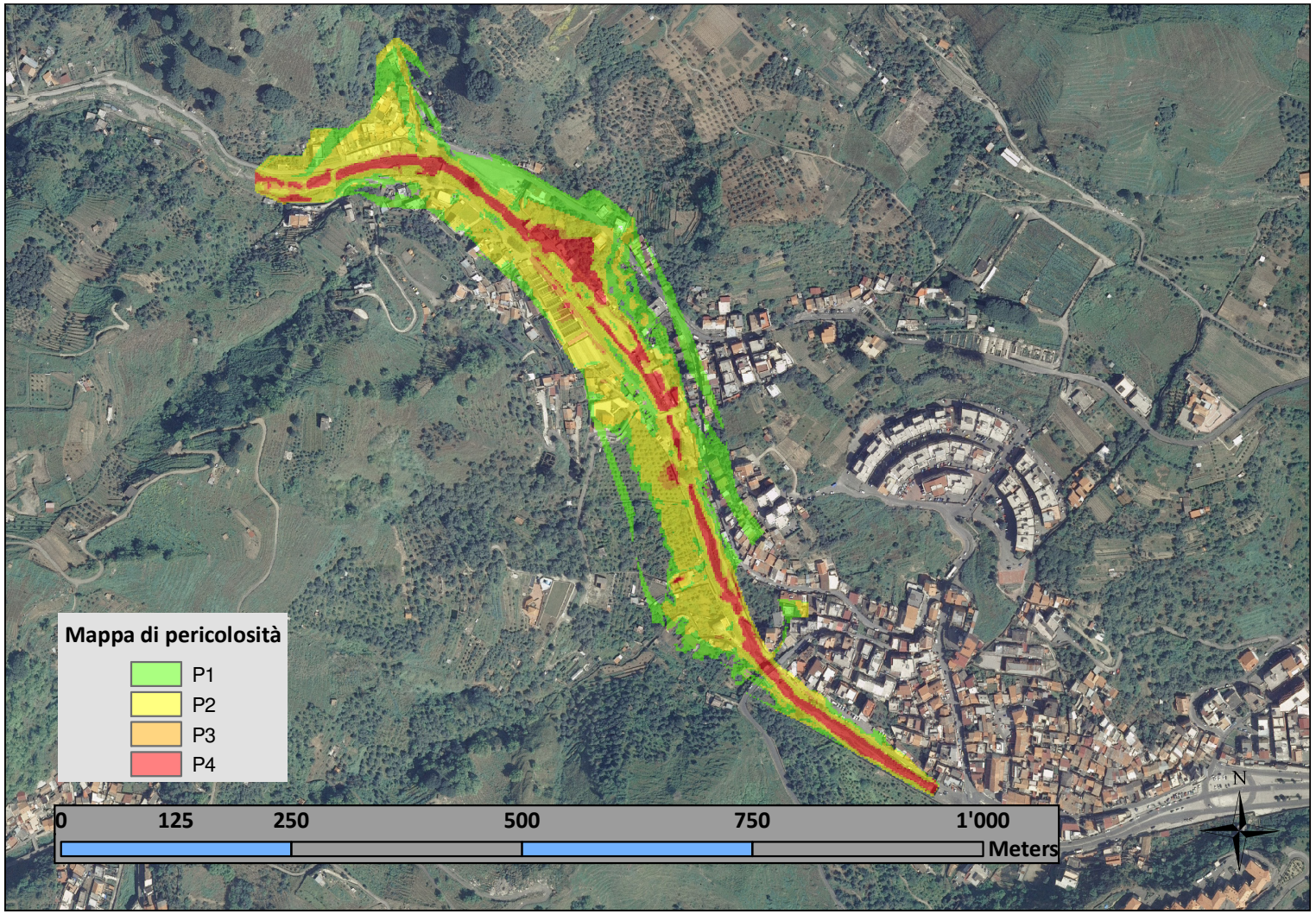

Figura 33 *– Mappa di pericolosità del Torrente Bordonaro.*