

# PROGETTO REALIZZAZIONE CENTRALINA MINI IDRO SUL TORRENTE RINCINE LONDA (FI)



OGGETTO DELL'INTERVENTO:

**ISTANZA DI AUTORIZZAZIONE UNICA EX ART 12 D.LGS 387/03 PER LA REALIZZAZIONE DI UNA NUOVA CENTRALE IDROELETTRICA SUL TORRENTE RINCINE SFRUTTANDO LO SBARRAMENTO DEL LAGO DI LONDA (Rif. Pratica Acque n. SiDIT 3180/2022)**

ELABORATO

**PD.R.WW.01.Relazione Idraulica\_09.2023\_rev1**

**RELAZIONE IDRAULICA**

COMMITTENTE:



**LONDA ENERGIE SRL**  
Via Senese, 189/a 53036 Poggibonsi (SI)  
P.IVA: 01577750522 C.F: 01577750522  
PEC: [londaenergie@pec.it](mailto:londaenergie@pec.it)

PROGETTAZIONE A CURA DI:



Via Trento N°2, 50052  
Certaldo (FI)  
P.IVA - C.F: 06715140486  
PEC: [indagosrl@pec.it](mailto:indagosrl@pec.it)

RESPONSABILE DI PROGETTO

ING. LORENZO ROMANELLI

PROFESSIONISTI:

ING. LETIZIA MORANDI



## TABELLA REVISIONI

COMMESSA	REV.	DATA
COM_ERE_22/0033	N.01	09/2023

## **Sommario**

1.	PREMESSA .....	3
2.	STATO ATTUALE DEI LUOGHI.....	5
3.	SINTESI DELLE OPERE IN PROGETTO .....	8
3.1.	OPERA DI CAPTAZIONE .....	10
3.2.	LOCALE TURBINA .....	11
3.3.	OPERE ELETTROMECCANICHE ED IDRAULICHE.....	12
4.	CENNI SUL TORRENTE RINCINE E INQUADRAMENTO IDRAULICO GENERALE .....	14
5	VERIFICA DELLO STATO ATTUALE.....	22
4.1.	ANALISI IDROLOGICA.....	22
4.2.	MODELLISTICA IDRAULICA .....	37
5.	VERIFICA DELLO STATO DI PROGETTO E CONCLUSIONI .....	42
6.	APPENDICE – TABULATI DI CALCOLO.....	44

## **1. PREMESSA**

La presente Relazione Idraulica è redatta a supporto dell'istanza di autorizzazione unica energetica per la derivazione di acque pubbliche per uso idroelettrico del Torrente Rincine in corrispondenza del lago di Londa nel Comune di Londa presentata dalla società proponente Londa Energie srl con sede legale nel comune di Poggibonsi (SI) P.I. 05927880483 Pec: [londaenergie@pec.it](mailto:londaenergie@pec.it)

La scrivente società ha infatti presentato manifestazione di interesse (rif. prot. 314207 del 09.08.22) approvata con Decreto n. 16461 del 12/08/2022 pubblicato sul BURT n. 138 del 31/08/2022 della Regione toscana. Ha poi presentato istanza di concessione in data 11.11.22, ed è infine stata invitata dal Settore Genio Civile della Regione Toscana alla presentazione di istanza di autorizzazione unica ex art 12 D.Lgs. 387/03 in data 22/11/2022 ( Pratica acque n° SiDIT 3180/2022).



**Figura 1.1: Inquadramento satellitare sito di interesse.**

Il progetto di cui alla presente istanza prevede la realizzazione di un impianto in sponda sinistra del Torrente Rincine, posto a valle della controbriglia, che dista circa 35 metri (nella parte centrale) dallo sbarramento principale dell'invaso.

L'impianto sarà alimentato da una condotta di presa posta internamente all'invaso e le acque saranno restituite a valle della controbriglia.

La centrale in progetto si configura quindi fra gli impianti che:

- recuperano strutture esistenti.
- hanno opera di presa e restituzione fisicamente non distinte.

Si evidenzia come quello in oggetto sarà un impianto che utilizza un salto su briglia o traverse esistente, senza sottensione di alveo naturale o sottrazione di risorsa, nel rispetto dei requisiti previsti dagli articoli 4, comma 3, lettera b) o 10, comma 3, lettera

f), iii, iv, v e vi del D.M. 23 giugno 2016, in quanto il prelievo e la restituzione verranno effettuati nell'ambito del corpo briglia.

La presente Relazione Idraulica ha l'obiettivo di valutare la compatibilità idraulica delle opere in progetto in termini di modifiche indotte alle dinamiche del corso d'acqua in caso di eventi di piena eccezionali o regime ordinario della corrente.

Sono di seguito illustrati gli approfondimenti modellistici sviluppati allo scopo, che dimostrano la sostenibilità idraulica del progetto.

## **2. STATO ATTUALE DEI LUOGHI**

Lo sbarramento che determina la formazione del Lago di Londa è costituito da una briglia principale in c.a. ed una successiva controbriglia, che complessivamente determinano un salto geodetico di 11.25 m. L'opera si presenta in buono stato di conservazione.

In corrispondenza dell'area di intervento, in sponda sinistra, è presente un percorso pedonale.

Lo sviluppo longitudinale della briglia principale (manufatto di forma arcuata) è pari a circa 100 m, quello della controbriglia (manufatto lineare) di circa 50 m.

Di seguito sono mostrate alcune fotografie del sito di intervento.





**Figura 2.1: Inquadramento satellitare sito di interesse.**



**Figura 2.2: Vista sbarramento principale e Lago di Londa.**





**Figura 2.3: Vista della controbriglia in corrispondenza del futuro locale centrale e opera di restituzione**



**Figura 2.4: Vista del guado sul T. Rincine all’imbocco dell’invaso.**

### **3. SINTESI DELLE OPERE IN PROGETTO**

L’impianto in progetto sarà collocato interamente in sinistra idraulica del T. Rincine e non creerà ostacolo al regolare deflusso delle acque.

L’opera di presa sarà realizzata a monte del corpo briglia che delimita il Lago di Londa e la restituzione immediatamente a valle della controbriglia.

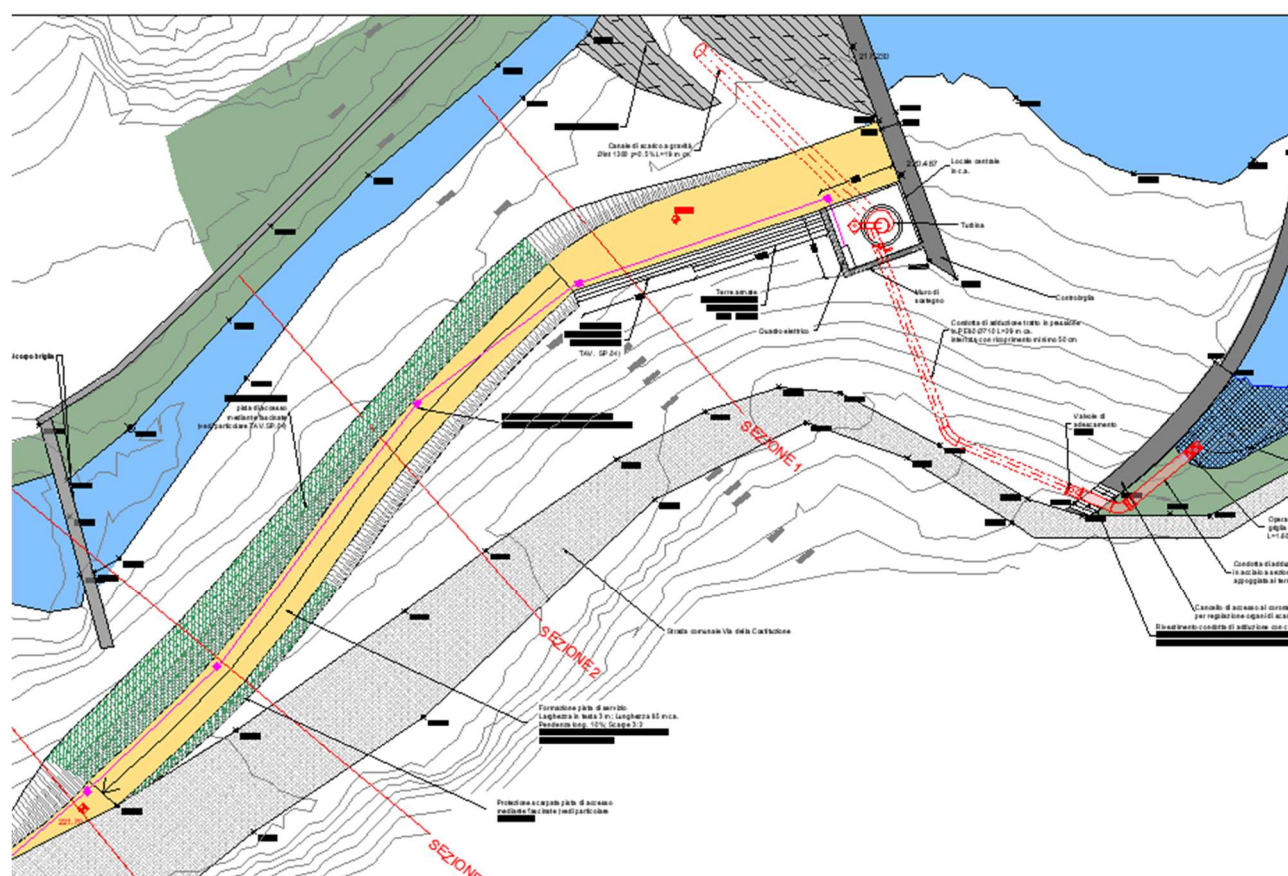
Le apparecchiature elettromeccaniche saranno alloggiate all’interno di un locale tecnico, ubicato in sponda sinistra in corrispondenza della controbriglia, in modo da non costituire ostacolo alcuno al deflusso delle acque.

La verifica della sussistenza di detta condizione è, in sostanza, l’obiettivo principale della presente Relazione Idraulica.



- valvola di intercettazione a monte della turbina;
- valvola per lo svuotamento della condotta;
- sistema di adescamento della condotta di presa nella fase iniziale;
- sistema di sgrigliatura sulla condotta di adduzione.

Di seguito si anticipa soltanto un estratto della planimetria generale del progetto.



**Figura 3.1: Estratto della planimetria di progetto.**

Nei paragrafi che seguono sono fornite le descrizioni dei vari elementi costituenti l'impianto in progetto, estratti dalla Relazione Tecnica Generale.

### **3.1. OPERA DI CAPTAZIONE**

L'opera di captazione viene realizzata in sponda sinistra del T. Rincine, immediatamente a monte del corpo briglia principale, mediante una leggera risagomatura della sponda del lago, con scarpa di progetto 3:2, volta ad eliminare il sedimento accumulatosi a tergo.

Verrà quindi realizzata l'opera di captazione delle acque del lago, attraverso tubazione fissata al terreno, munita di adeguata griglia posta sotto battente. La griglia posta su di essa consentirà di effettuare la periodica rimozione dei corpi solidi trascinati dalla corrente e la ripulitura dei corpi galleggianti. Sulla condotta di presa verrà realizzata una passerella per le periodiche operazioni di pulizia della griglia dotata delle opportune protezioni di sicurezza per il personale.

Dalla presa dipartirà una condotta di lunghezza pari a circa 45 m. Questa sarà in depressione nel primo tratto, di circa 13 m, per cui verrà azionata mediante sifone a cavaliere. Tale scelta progettuale è pensata per minimizzare l'impatto complessivo dell'opera sull'ambiente e non interessare in alcun modo l'opera di sbarramento esistente.

Nessun intervento è previsto sul corpo briglia e controbriglia.

Per un tratto di circa 33 m dall'opera di presa la condotta di derivazione sarà semplicemente appoggiata sul terreno ovvero sul coronamento della briglia e fissata a questo mediante staffature metalliche (senza uso di c.a.). Nel restante tratto sarà invece interrata ai fini del suo convogliamento nel locale centrale.

In prossimità del coronamento sarà posto un sistema di attraversamento della condotta per il libero accesso alla sommità della briglia ove sono presenti gli organi di regolazione dello scarico di fondo, con eventuale arretramento del cancello di ingresso esistente.

### 3.2. LOCALE TURBINA

Il locale centrale sarà costituito da manufatto in c.a. gettato in opera, sostenuto da muro tergale a “L” che ne consente l’interramento nella scarpata esistente, posto su adeguata soletta in c.a. gettata in opera. L’ingresso al locale avverrà lato fiume.

Il locale centrale, di dimensioni interne 6 m x 5 m, sarà appoggiato al corpo della controbriglia, seguendone l’andamento altimetrico, e sarà interrato in modo da lasciare il profilo altimetrico della scarpata per lo più inalterato.

Il piano di calpestio della centrale è alla quota di 216.70 m slm.

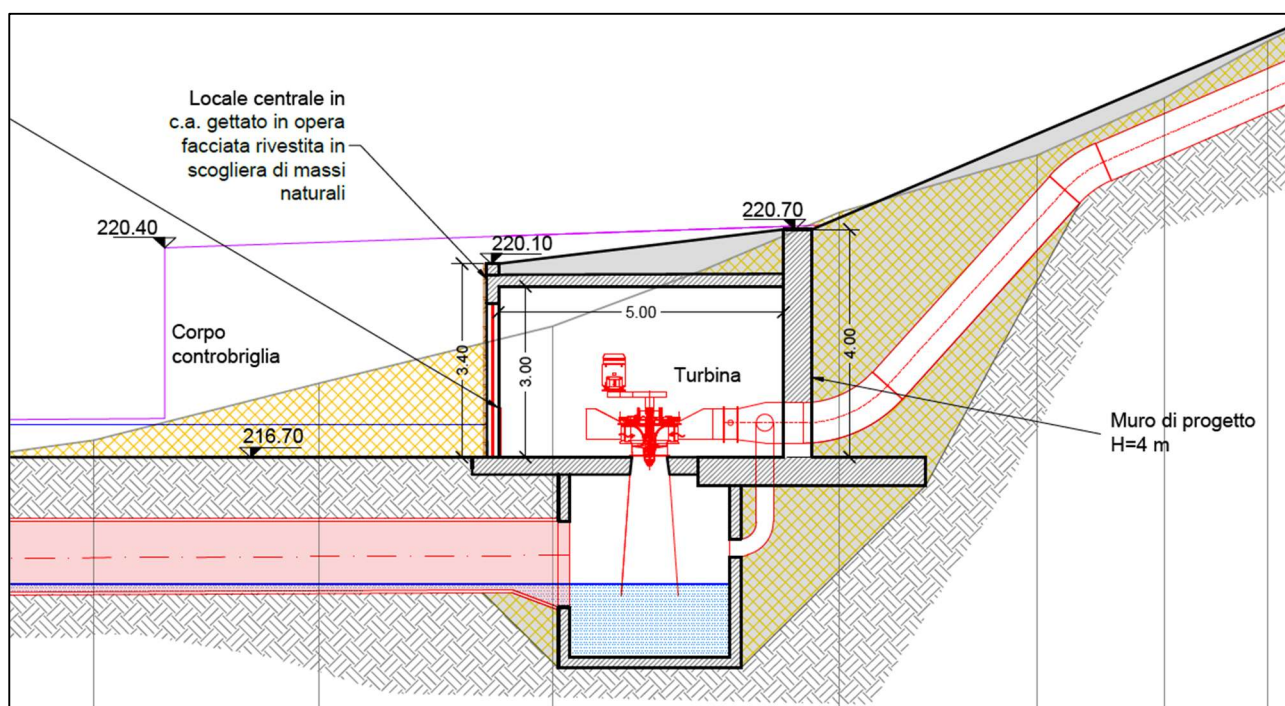


Figura 3.2: Estratto della sezione del locale turbina di progetto.

Al di sotto della soletta di fondazione sarà realizzata la camera di scarico, costituita da elemento prefabbricato di diametro interno ca. 2.80 m, posta al sotto del livello dell’acqua di valle, pari a 214.47 m slm.

La condotta di scarico sarà realizzata mediante tubazione interrata al di sotto del suddetto manufatto di scarico per la restituzione della portata derivata immediatamente



a valle della controbriglia. La condotta sarà caratterizzata da Øint 1200 con pendenza dello 0.5% e lunghezza 19 m ca e consentirà lo smaltimento della portata massima derivabile con un grado di riempimento di circa 30-35%.

È prevista la realizzazione una nuova pista di servizio per l'accesso al locale centrale, che servirà sia in fase di cantiere che di esercizio, per le normali attività di manutenzione e controllo che dipartirà dall'area di parcheggio denominata Polverone e, percorrendo la scarpata in sponda sinistra del torrente Rincine, arriverà al locale centrale. La pista avrà una larghezza in testa di 3 m e scarpe 3:2 ed una lunghezza complessiva di 85 m ca.

Lungo la pista sarà posto in opera elettrodotto interrato di BT fino al punto di consegna Enel con relativo box di ricovero contatori nelle pertinenze del parcheggio Polverone.

### **3.3. OPERE ELETTROMECCANICHE ED IDRAULICHE**

La centrale idroelettrica sarà dotata di:

- Turbina ad elica/generatore,
- Quadro di regolazione e controllo,
- Opere di intercettazione flusso idraulico,
- Griglia in aspirazione con pulizia manuale,
- Opere ausiliarie quali illuminazioni, rete di terra, videosorveglianza, sistema trasmissione dati,
- Quadro di potenza BT,
- Elettrodotto secondo normative Enel da locale produzione a punto di connessione rete.

L'acqua derivata verrà turbinata da una turbina ad elica, soluzione individuata come ottimale per sfruttare con i massimi rendimenti le portate ed il salto disponibili.

Il fluido situato nella vasca di carico sopra la turbina alimenta su tutta la circonferenza un distributore che dà al fluido una rotazione vorticoso. Il distributore, essenziale per imprimere il moto alla girante, devia il flusso investendo assialmente la turbina.

L'orientamento delle pale del distributore è regolabile in funzione della portata. Se ne prevede quindi l'inserimento in un ambiente dotato di accorgimenti tecnici particolari per il corretto funzionamento in piena sicurezza.

## **4. CENNI SUL TORRENTE RINCINE E INQUADRAMENTO IDRAULICO GENERALE**

Il Torrente Rincine è il corso d'acqua che alimenta il Lago di Londa.

Esso il principale affluente del Torrente Moscia, che incontra alcune centinaia di metri a valle dell'invaso.

Il Torrente Moscia, a sua volta affluente sinistro del Fiume Sieve, presenta, alla confluenza con il Torrente Rincine, un bacino di superficie inferiore a quello del Rincine stesso.

Alla sezione di uscita dal Lago (sfioratore della briglia principale) la superficie del Torrente Rincine è pari a circa 33 kmq.

Il reticolo del Torrente Rincine si articola su un territorio prevalentemente montuoso e coperto da boschi, avente come vetta principali gli oltre 1300 m slm del Monte Massicaia.

La seguente figura mostra il bacino del Torrente Rincine su foto con il reticolo idrografico regionale (agg. D.C.R. 81/2021).

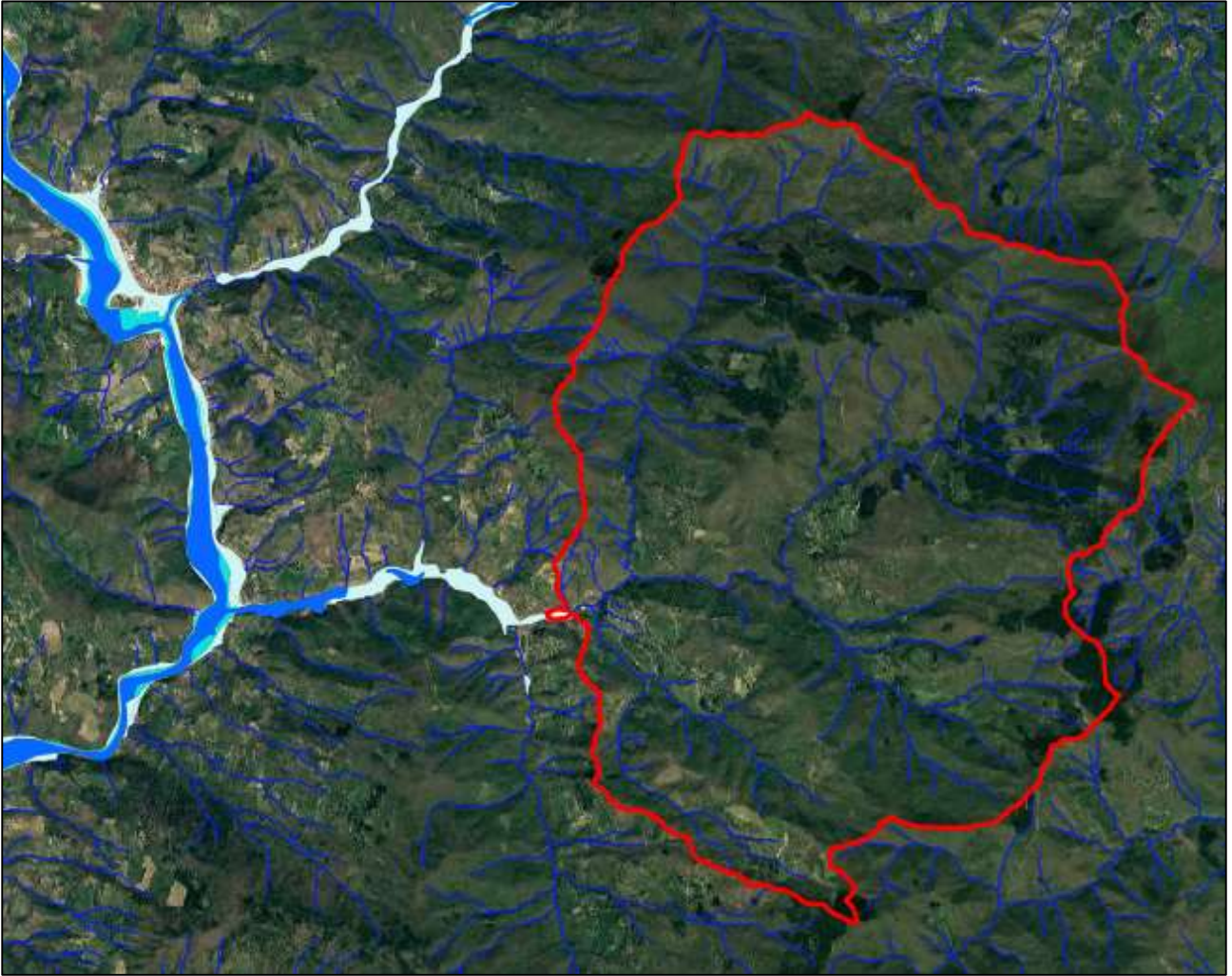




**Figura 4.1: Bacino e reticolo del Torrente Rincine.**

Il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto Appennino Settentrionale fornisce una mappatura di pericolosità da alluvione nel tratto fluviale di interesse; si tratta però di una classificazione del ramo in uscita dal lago pericolosità bassa, frutto di perimetrazione vetusta e, probabilmente, redatta su base morfologica e non attraverso specifici studi idraulici.

La seguente figura mostra l'insieme delle perimetrazioni di pericolosità del P.G.R.A. su questa porzione di Valdisieve.



**Figura 4.2: Bacino e reticolo del Torrente Rincine e pericolosità di PGRA.**

Dalla precedente figura si evince come si abbia una maggiore conoscenza e precisione nella mappatura della pericolosità da alluvione soltanto lungo il Fiume Sieve e lungo il tratto terminale del Torrente Moscia.

Di seguito è fornito uno zoom delle perimetrazioni di P.G.R.A. sull'area di interesse.





**Figura 4.3: Pericolosità da alluvione del PGRA sull'area di interesse.**

Con Delibera di Giunta n. 40 del 6 giugno 2023 l'Unione dei comuni di Pontassieve, Londa, Pelago, Rufina e San Godenzo ha ratificato l'adozione del Piano Strutturale Intercomunale del Valdarno Valdisieve (di seguito PSI).

L'adozione del Piano è efficace dalla pubblicazione sul BURT n. 24 parte II del 14/06/2023. A supporto del piano sono stati aggiornati gli studi idrologici idraulici di supporto ed adeguati ai cogenti disposti normativi (L.R. 41/2018 e smi e D.P.G.R. n. 5R/2021).



Di seguito si riportano i nuovi estratti di pericolosità da alluvioni, battenti e magnitudo che scaturisco dal nuovo PSI adottato.

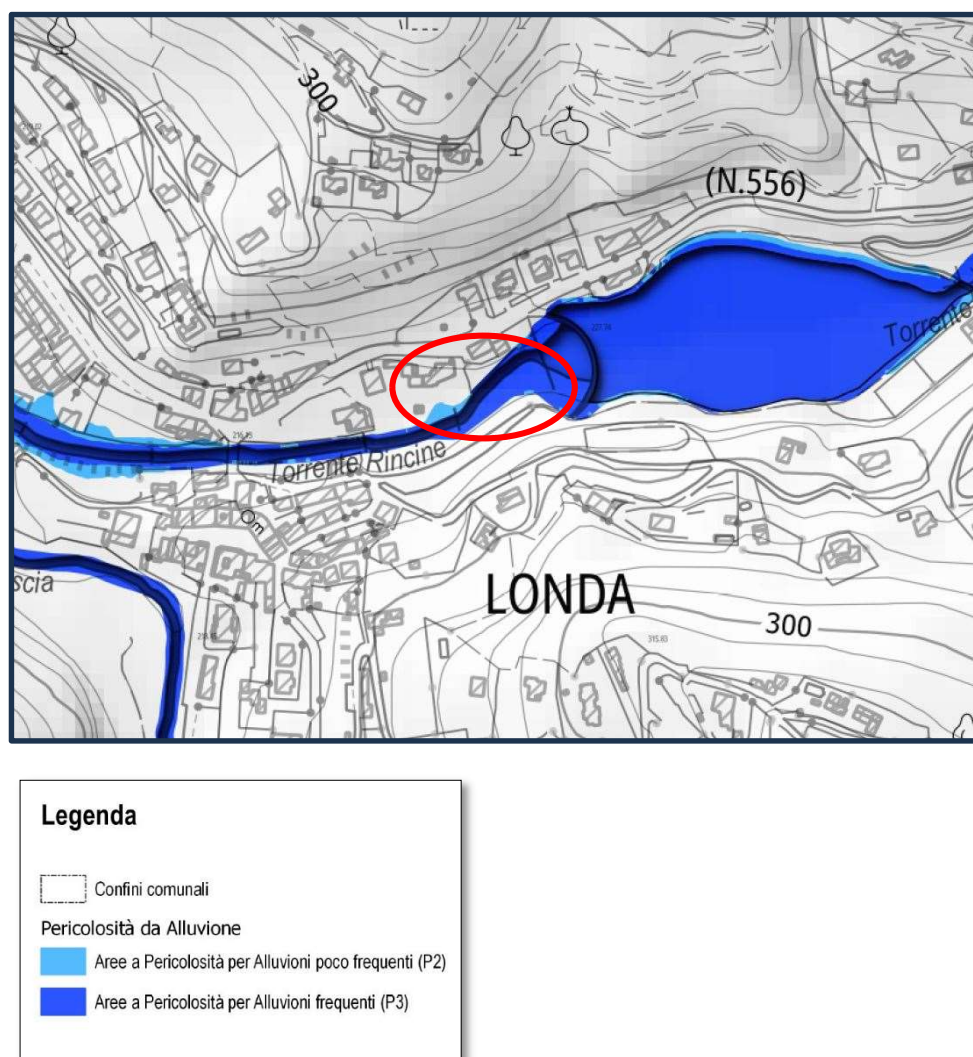


Figura 4.4: Stralcio Carta pericolosità Alluvioni PSI STA03\_5

Secondo la cartografia redatta nel PSI, l'area di intervento ricade fra quelle interessate da pericolosità per alluvioni frequenti, P3.

A seguire gli stralci delle carte dei battenti, velocità e magnitudo.

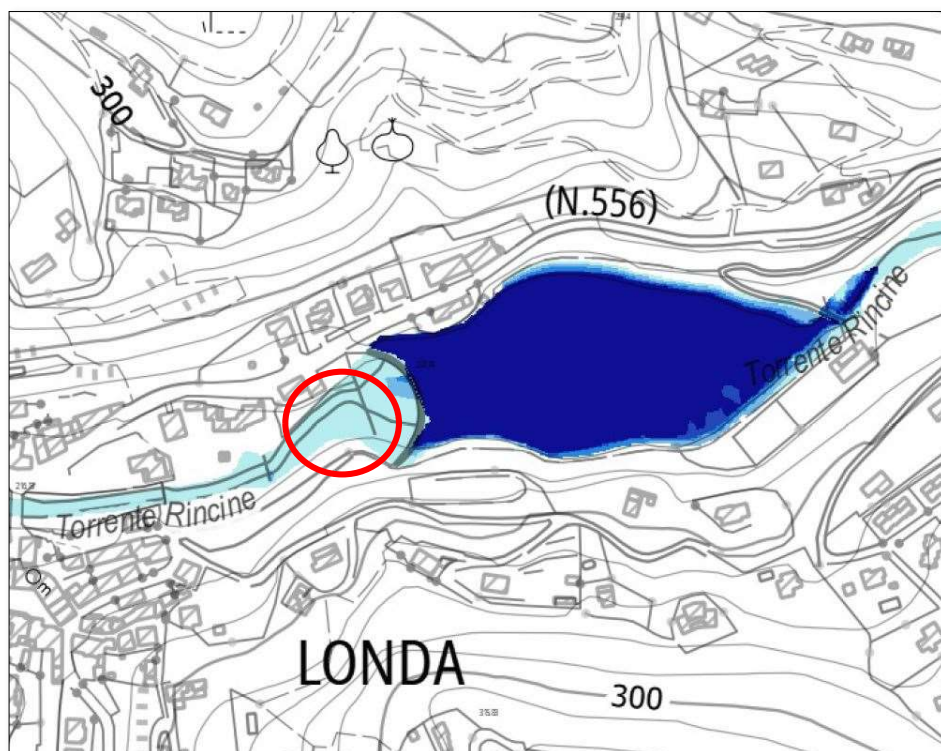


Figura 4.5: Stralcio della Carta dei Battenti TR200 estratta dal PSI

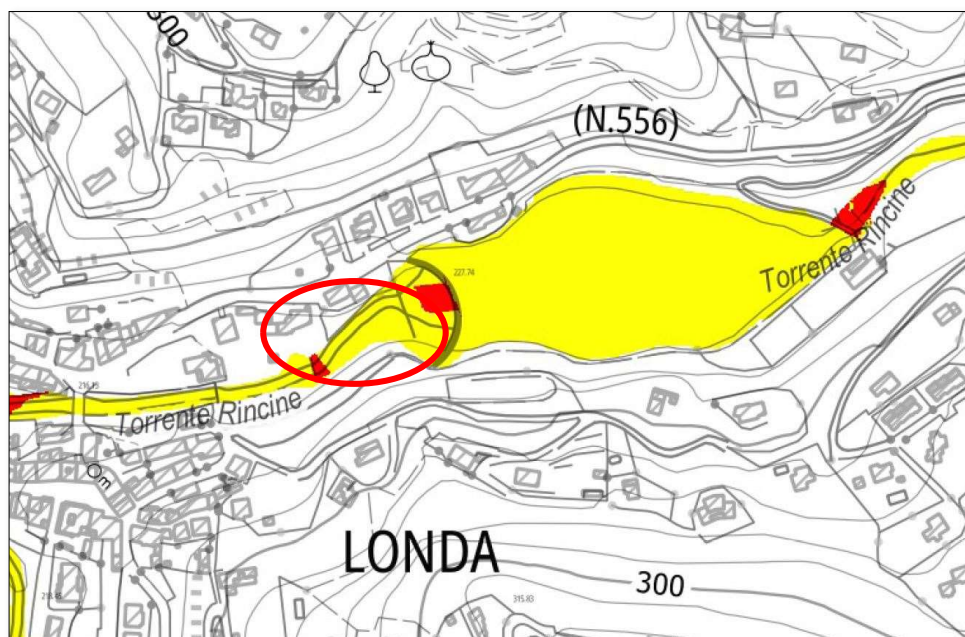


Figura 4.7: Stralcio della Carta della Velocità della corrente per TR200 del PSI



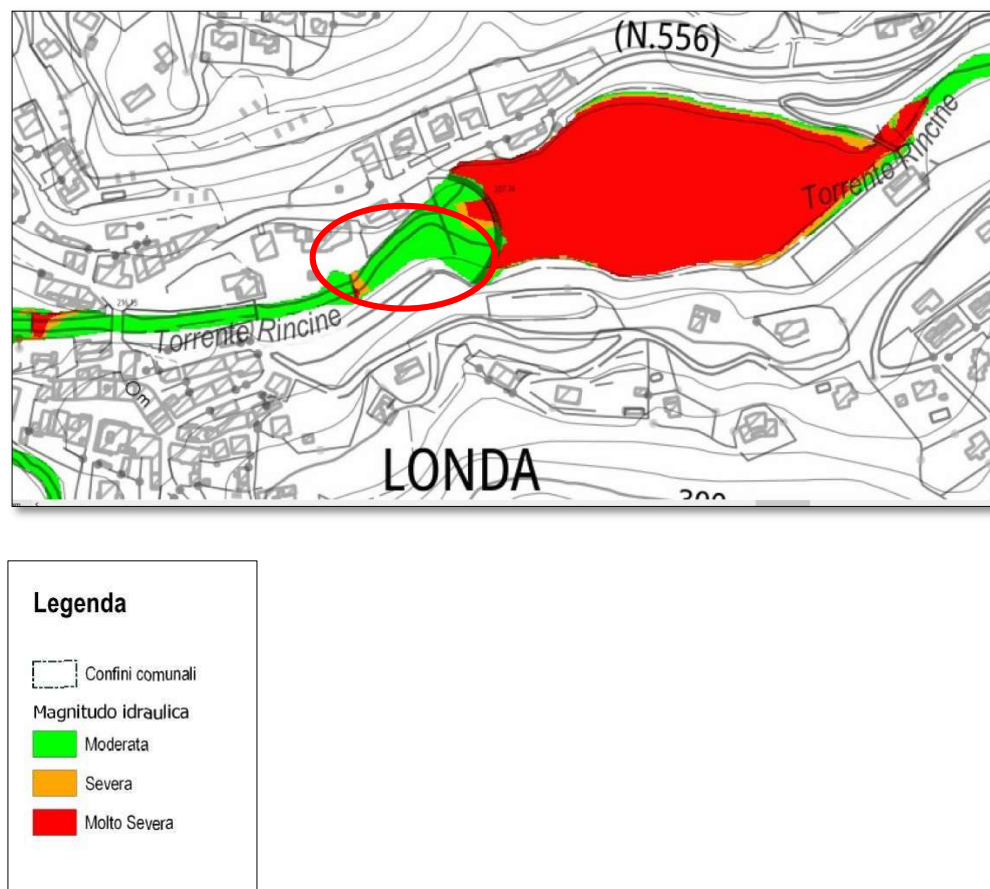


Figura 4.8: Stralcio Carta Magnitudo PSI QC C06\_5

L'area, quindi, è caratterizzata da **magnitudo moderata**, per velocità della corrente inferiori a 0.5 m/s e battente inferiore a 0.5 m.

Ai sensi dei disposti della LR 41/2018 e smi, negli alvei, nelle golene, sugli argini e nelle aree comprendenti le due fasce di larghezza di dieci metri dal piede esterno dell'argine o, in mancanza, dal ciglio di sponda dei corsi d'acqua del reticolo idrografico di cui all'articolo 22, comma 2, lettera e), della l.r. 79/2012, l'intervento oggetto della presente trattazione è consentito, previa autorizzazione della struttura regionale competente, purchè sia assicurato il miglioramento o la non alterazione del buon regime delle acque; non interferisca con esigenze di regimazione idraulica, accessibilità e manutenzione del corso d'acqua e sia compatibile con la presenza di opere idrauliche; non interferisca con la stabilità del fondo e delle sponde; non vi sia

aggravio del rischio in altre aree derivante dalla realizzazione dell'intervento; non vi sia aggravio del rischio per le persone e per l'immobile oggetto dell'intervento.

## **5 VERIFICA DELLO STATO ATTUALE**

In questo capitolo è descritta la modellazione idrologica ed idraulica effettuata lungo un breve tratto del Torrente Rincine a valle del Lago di Londa.

La modellazione (come detto, estremamente semplificata) è stata sviluppata nell'ipotesi che dallo sfioratore del lago transiti indisturbata l'intera portata idrologica del bacino di monte del Torrente Rincine; di fatto, nell'ipotesi di inesistenza del lago.

Già di per sé questo presuppone un approccio cautelativo, in quanto il lago, anche in condizioni di massima ritenuta ed evento meteorico duecentennale, indurrebbe una certa laminazione delle portate.

Come anticipato, la modellazione idraulica è stata affrontata in modo semplificato (breve tratto di studio e verifica in moto permanente), invece l'analisi idrologica, finalizzata alla stima degli idrogrammi di piena (duecentennali, in questo caso), è stata affrontata in modo completo e approfondito, adottando un approccio metodologico di comune diffusione.

### **4.1. ANALISI IDROLOGICA**

L'analisi idrologica ha lo scopo di stimare le portate di piena, o gli idrogrammi di piena, per tutte le sezioni di interesse del reticolo idrografico in esame. Nel presente caso, per

una verifica idraulica effettuata in moto permanente, si è reso necessario stimare i valori al colmo delle portate di piena con tempo di ritorno di 200 anni del Torrente Rincine alla sezione dello sfioratore del Lago di Londa.

Le portate sono state calcolate mediante lo schema di calcolo ex AlTo (modello di piena concettuale a parametri concentrati AlTo, Regione Toscana, 2000), di seguito descritto, elaborando tutti i dati geomorfologici e pluviometrici necessari e caratteristici del bacino del Torrente Rincine.

Tale modello è fondato sull'idrogramma istantaneo unitario di Nash, i cui parametri vengono determinati sulla base delle caratteristiche geomorfologiche del bacino attraverso una procedura di regionalizzazione ottenendo il cosiddetto Idrogramma Unitario Geomorfologico o GIUH.

L'input meteorico è schematizzato mediante uno "ietogramma sintetico" la cui frequenza viene stimata a partire dalle curve di possibilità pluviometrica ricavate con l'adattamento della distribuzione TCEV (Two Components Extreme Value).

Il modello di trasferimento adottato è, come detto, quello dell'idrogramma unitario di Nash, del tipo  $\Gamma(n,k)$ , dove  $n$  e  $k$  rappresentano rispettivamente i parametri di forma e di scala, e che ha la seguente espressione:

$$U(t) = \frac{1}{k\Gamma(n)} \left(\frac{t}{k}\right)^{(n-1)} e^{-\left(\frac{t}{k}\right)} \quad [1]$$

in cui i parametri  $n$  e  $k$ , i quali hanno le seguenti formulazioni:

$$n = 3.29 \left(\frac{R_b}{R_a}\right)^{0.78} R_l^{0.07} \quad [2]$$

$$k = 0.7 \left[ \frac{R_a}{R_b R_l} \right]^{0.48} \frac{L_c}{v} \quad [3]$$

dipendono a loro volta da  $R_b$ , rapporto di biforcazione,  $R_a$ , rapporto di area,  $R_l$ , rapporto di lunghezza,  $L_c$ , lunghezza del canale principale, e  $v$ , fattore cinematico legato alla velocità della piena; questi ultimi parametri geomorfologici sono stati calcolati sulla base della gerarchizzazione del reticolo idrografico secondo il metodo di Horton-Strahler.

La valutazione del contributo netto di pioggia alla formazione del deflusso sul reticolo necessita della stima di ulteriori due parametri che tengano conto delle perdite di infiltrazione; si tratta dell'assorbimento completo della precipitazione durante le prime fasi dell'evento meteorico,  $I_a$  [mm], correlato alla percentuale di superficie boscata del bacino, e dell'infiltrazione costante a saturazione,  $K_s$  [mm/h], dipendente dalle caratteristiche litologiche e pedologiche del terreno.

Il legame tra questi due parametri è il seguente:

$$I_a(t) = I_a(0) + \int_0^{t_a} (P(\tau) - K_s) d\tau \quad [4]$$

in cui, per

$$\begin{aligned} t < t_a, \quad P_n(t) &= 0 \\ I_a(t) &= I_a \end{aligned} \quad [5]$$

e per

$$\begin{aligned} t &\geq t_a \\ P_n(t) &= P(t) - K_s \end{aligned} \quad [6]$$



In definitiva, secondo lo schema metodologico adottato, per la stima degli idrogrammi di piena, o delle portate, è necessario definire i seguenti parametri (sono già anticipati i valori risultanti, successivamente ne è illustrato il procedimento di calcolo):

Corso d'acqua / sezione di interesse	A (Area bacino, mq)	$I_a$ (mm)	$K_s$ (mm/h)	$n$	$k$	$h$ (altezze di precipitazione, mm)
Torrente Rincine/sezione a valle del Lago di Londa	33.21	22.05	1.50	3.312	0.664	Varie – vedi in seguito

Tabella 5.1: Parametri geomorfologici caratteristici del bacino del Torrente Rincine alla sezione di interesse.

Partendo dalle sollecitazioni pluviometriche, sono stati acquisiti i dati dell'Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme (Regione Toscana, 2014), che fornisce su griglie in formato *raster* di 1x1 kmq i valori dei parametri  $a$  ed  $n$  delle Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica, che si legano all'altezza di precipitazione  $h$  secondo la seguente formula:

$$h = a \times t^n \quad [7]$$

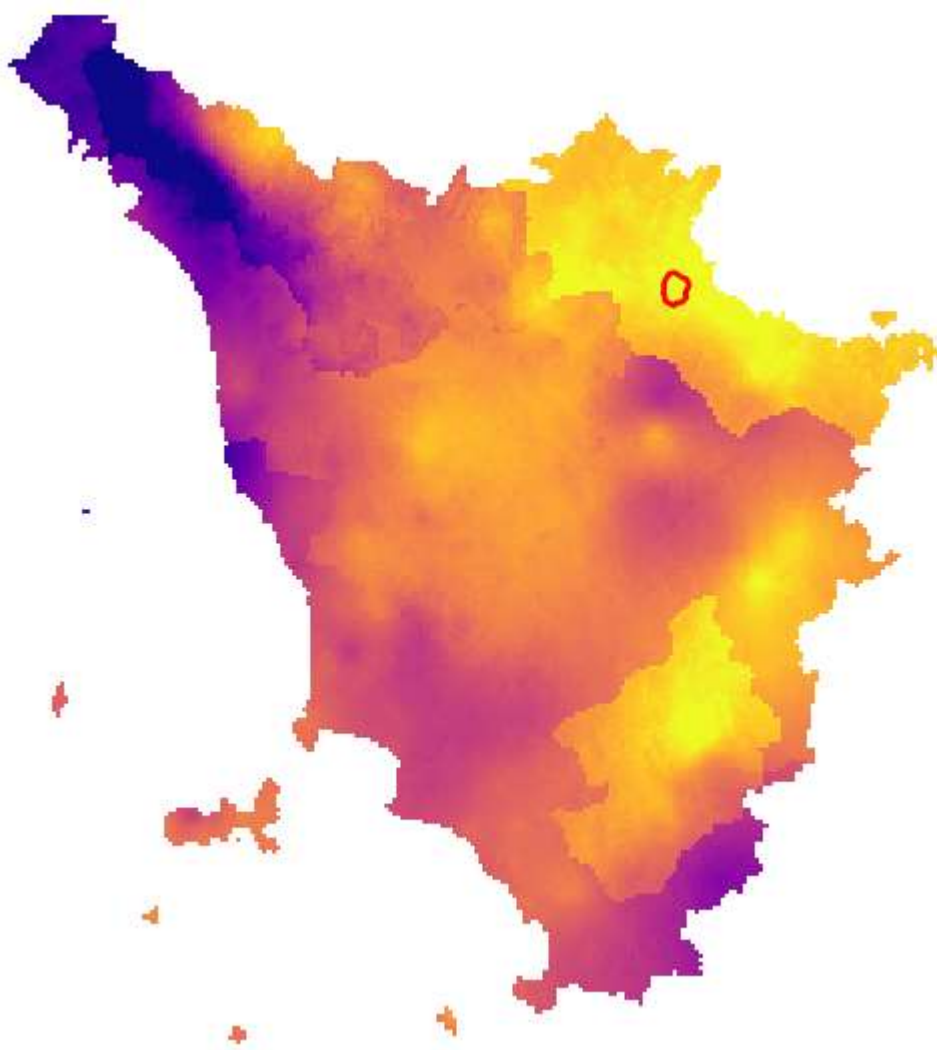
in cui  $t$  (h) rappresenta la durata di precipitazione.

E' per questo motivo che nella tabella precedente non sono state indicate altezze di precipitazione, in quanto esse variano in funzione della durata di pioggia.

Per il bacino del Torrente Rincine, il cui perimetro è già stato mostrato in figure precedenti, sono state stimate alcune altezze medie di precipitazione.

Sono state prese in considerazione le altezze di precipitazione per eventi di durata pari a 1, 2, 3, 4, 5 e 6 ore.

La pubblicazione regionale fornisce i valori di  $a$  ed  $n$ , in funzione di vari tempi di ritorno (nel presente caso, come detto, è indagato solo il tempo di ritorno duecentennale), nella forma mostrata nella seguente figura, dove è individuato anche il bacino in esame.



**Figura 5.1: Esempio di distribuzione del parametro  $a$  delle LSP regionali per TR200.**

La seguente tabella mostra i valori medi di altezza di precipitazione sul bacino in esame per le durate da 1 ora a 6 ore ricavate mediante la formulazione binomia precedente.

Queste sollecitazioni pluviometriche (piogge lorde) sono assunte come uniformi sulla superficie del bacino (ietogramma costante, o rettangolare).

Corso d'acqua / sezione di interesse	<i>h200_1</i> (altezza di precipitazione per TR200 e pioggia di 1 ora, mm)	<i>h200_2</i> (mm)	<i>h200_3</i> (mm)	<i>h200_4</i> (mm)	<i>h200_5</i> (mm)	<i>h200_6</i> (mm)
Torrente Rincine/sezione a valle del Lago di Londa	55.32	69.08	78.66	86.26	92.65	98.23

**Tabella 5.2: Altezze medie di precipitazione sul bacino de Torrente Rincine per TR200 anni.**

L'afflusso meteorico lordo di cui alla precedente tabella è stato poi ragguagliato alla superficie del bacino.

All'input meteorico è applicato un coefficiente moltiplicativo di ragguaglio areale,  $K_r$ , che generalmente aumenta con l'aumentare della durata di pioggia e diminuisce con l'aumentare della superficie del bacino rispetto al quale è calcolato.

Per pervenire a questo valore di  $K_r$  è stata utilizzata la seguente relazione:

$$K_r = 1 - \exp(-\alpha t^\beta) + \exp(-\alpha t^\beta - \gamma A) \quad [8]$$

in cui  $t$  è la durata di precipitazione (h),  $A$  la superficie del bacino (kmq), mentre il parametro  $\alpha$  è posto uguale a  $0.036 \times a'$ , dove  $a'$  rappresenta il coefficiente della curva di possibilità pluviometrica in forma trinomia, il parametro  $\beta=0.25$  ed il parametro  $\gamma=0.01$ .

Si parla di formula trinomia perché nella versione originale del modello di piena Alto le piogge erano stimate secondo questa relazione:

$$h = a' \times t^{n'} \times T^{m'} \quad [9]$$

in cui  $a'$ ,  $n'$  e  $m'$  sono i tre parametri delle LSPP e  $T$  (anni) il tempo di ritorno, e non secondo la relazione binomia:

$$h = a \times t^n \quad [7]$$

Per il passaggio da formula binomia (che è nota avendo a disposizione i parametri  $a$  ed  $n$  dell'Analisi di frequenza regionale) a formula trinomia è necessario operare un procedimento di regressione logaritmica multipla, di cui si omettono i passaggi analitici.

Così facendo, si è in grado di ricavare il valore di  $a'$  necessario per stimare il coefficiente di ragguaglio areale  $K_r$  (da [8]) per ciascuna durata di precipitazione.

La seguente tabella riporti i valori risultanti di  $K_r$  e le altezze di precipitazione  $h$  con esso ragguagliate.

Scenario (tempo di ritorno e durata)	TR200 D=1 ora	TR200 D=2 ore	TR200 D=3 ore	TR200 D=4 ore	TR200 D=5 ore	TR200 D=5 ore
$K_r$ coefficiente di ragguaglio areale	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.92
$h$ altezza di precipitazione (mm)	48.49	61.79	71.18	78.70	85.06	90.63

Tabella 5.3: Coefficienti ragguaglio areale e altezze di precipitazione lorde e ragguagliate sul bacino de Torrente Rincine per TR200 anni.



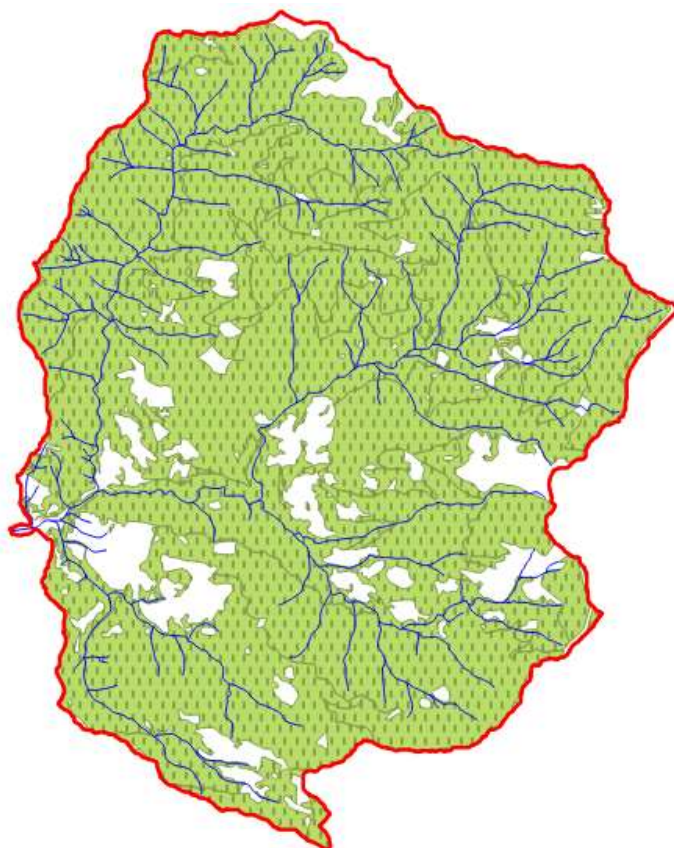
Una volta definite le sollecitazioni pluviometriche lorde sul bacino in esame si è passati alla stima dei parametri necessari per la deputazione delle piogge, in applicazione del metodo di infiltrazione asintotico a soglia basato sui parametri  $I_a$  (intercettazione iniziale) e  $K_s$  (coefficiente di infiltrazione a saturazione).

Tali parametri sono stati ricavati rispettivamente dall'analisi del Database di Uso e Copertura del Suolo della Regione Toscana, anno 2019 (UCS2019), da cui si è estratta la percentuale di copertura boscata del bacino, e del Database Geopedologico della Regione Toscana, anno 2017, in cui è disponibile il valore di  $K_s$  (è stato adottato, cautelativamente, il valore  $K_{s150}$ ).

Per il parametro di intercettazione iniziale  $I_a$  (mm) è necessaria la superficie boscata in quanto vale la seguente correlazione:

$$I_a = 3.3 + 22 \times \% \text{ sup. boscata} \quad [10]$$

La seguente figura mostra la copertura boscata sul bacino di monte del Torrente Rincine, che risulta pari al 85.24%, da cui il valore di  $I_a = 22.05$  di Tab. 1.



**Figura 5.2: Superficie boscata sul bacino del Torrente Rincine.**

La distribuzione del parametro di infiltrazione a saturazione  $K_{s150}$  sul bacino del Torrente Rincine, da Database Geopedologico della Regione Toscana, è mostrata nella figura seguente; il valore medio risulta pari a 1.50 mm/h, come da Tab. 1.

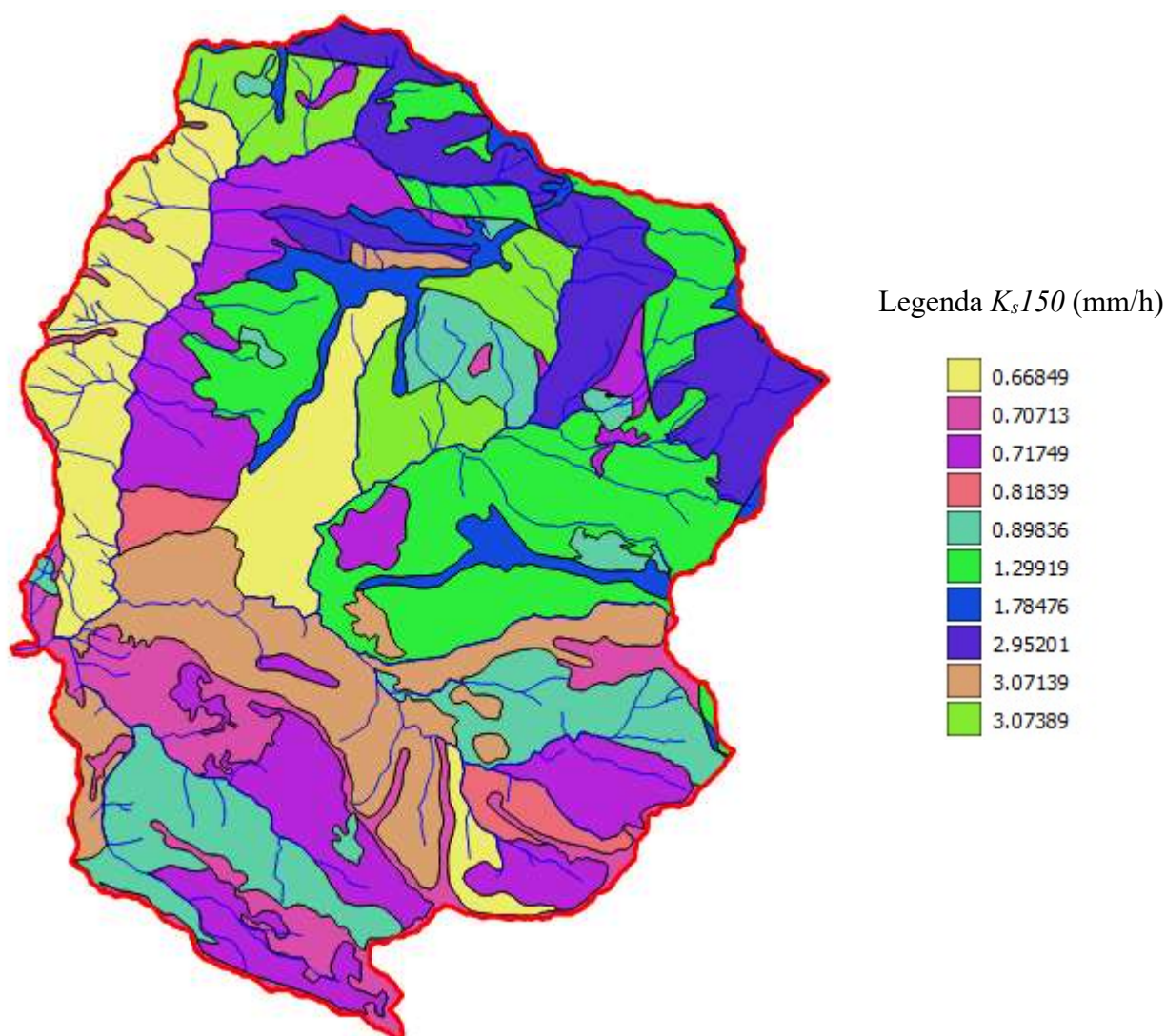


Figura 5.3: Distribuzione del parametro di infiltrazione  $K_{s150}$  sul bacino del Torrente Rincine.

Come anticipato, il metodo adottato per la trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi di piena è quello dell'idrogramma unitario istantaneo (IUH), ovvero l'idrogramma di piena causato da un evento di pioggia di volume unitario e durata tendente a zero; ipotizzando la risposta del sistema lineare e stazionaria, l'idrogramma viene calcolato mediante la convoluzione tra lo ietogramma efficace (ovvero la distribuzione dell'input meteorico "depurato" e quindi effettivamente contribuente alla formazione del deflusso) e l'idrogramma unitario.

La relazione da applicare è la seguente:

$$Q(t) = \int_0^t U(\tau) \cdot p(t - \tau) d\tau \quad [11]$$

in cui  $Q$  è la portata,  $U$  l'idrogramma unitario e  $p$  l'afflusso efficace, quest'ultimo definito come:

$$p(t) = [A \times i(t)] / 0.0036 \quad [12]$$

in cui  $A$  è la superficie del bacino in kmq ed  $i$  l'intensità della pioggia netta, media sul bacino, in mm/h; in pratica  $i$  è il valore risultante dalle fasi di calcolo precedenti fino alla "depurazione" mediante  $I_a$  e  $K_s$ .

L'integrale di convoluzione di cui alla [11] è stato risolto con procedimento analitico in ambiente *Excel*, come successione di somme dei prodotti incrociati del tipo:

$$\begin{aligned} Q_1 &= U_1 p_1 \\ Q_2 &= U_1 p_2 + U_2 p_1 \\ Q_3 &= U_1 p_3 + U_2 p_2 + U_3 p_1 \\ &\dots \dots \\ Q_i &= U_1 p_i + U_2 p_{i-1} + \dots + U_n p_{i-n+1} \end{aligned} \quad [13]$$

Per risolvere detta convoluzione restano da calcolare i valori di  $U$ , secondo le relazioni [1] [2] [3] .

I parametri di Nash di cui a [2] [3] sono funzione dei rapporti di biforcazione ( $R_b$ ), di lunghezza ( $R_l$ ) e di area ( $R_a$ ) di Horton.

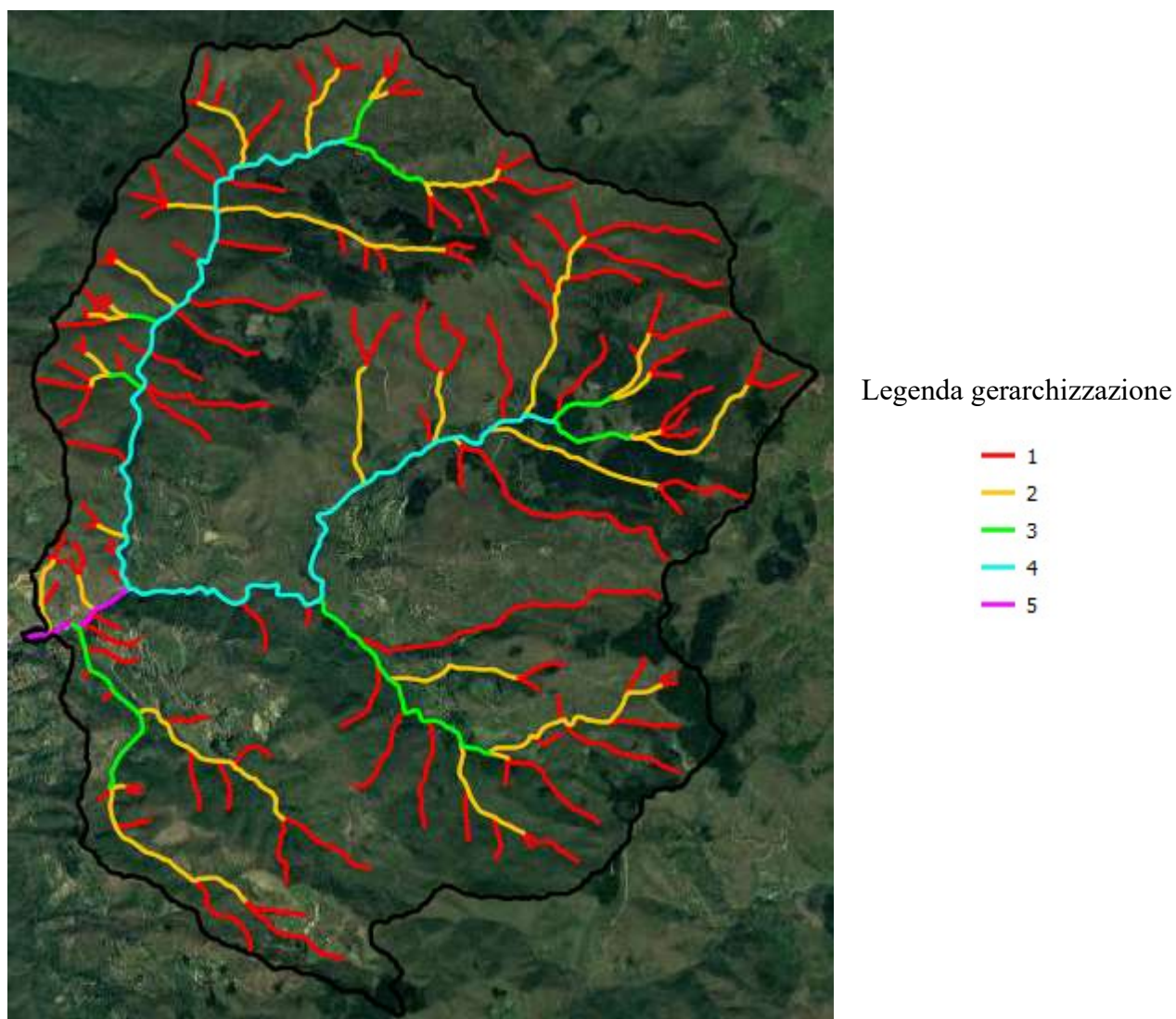
Per la stima dei rapporti di Horton si procede dapprima ordinando il reticolo idrografico del bacino e le relative aree di alimentazione afferenti in ordini gerarchici, secondo Strahler.



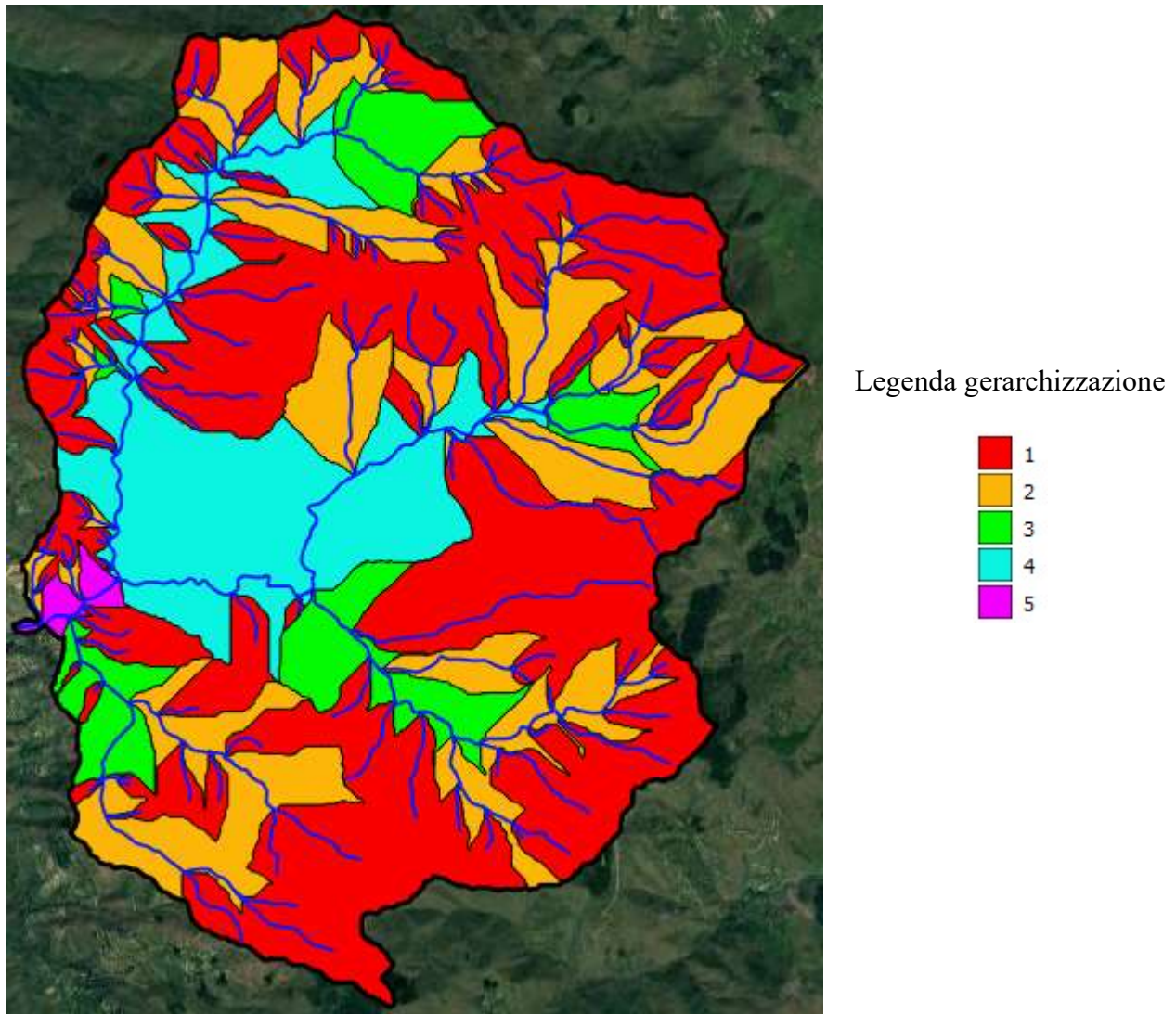
Per fare ciò ci si è avvalsi del reticolo idrografico regionale nell'ultima versione disponibile (D.C.R. 81/2021) e, per le aree di alimentazione, dello shape ricavato sul D.T.M. in scala 1: 10.000 della Regione Toscana.

Il reticolo del Torrente Rincine alla sezione di interesse risulta del 5° ordine gerarchico.

Le seguenti figure mostrano, rispettivamente, la gerarchizzazione secondo Strahler del reticolo e delle rispettive aree di alimentazione, sul bacino in esame.



**Figura 5.4: Gerarchizzazione del reticolo sul bacino del Torrente Rincine.**



**Figura 5.5: Gerarchizzazione delle aree di alimentazione sul bacino del Torrente Rincine.**

Applicando le formulazioni per il calcolo dei rapporti di Horton e, successivamente applicando [2] [3], si è proceduto alla stima dei parametri  $n$  e  $k$  di Nash, che risultano rispettivamente pari a 3.312 e 0.664 come da Tab. 1.

Da qui, mediante [1], si è pervenuti ai valori dell'idrogramma unitario da adottare in [11], espresso secondo la forma “discretizzata” di [13].

La seguente figura mostra gli idrogrammi risultanti, che, come anticipato, sono stati stimati solo per il tempo di ritorno duecentennale e le durate di pioggia da 1 a 6 ore.

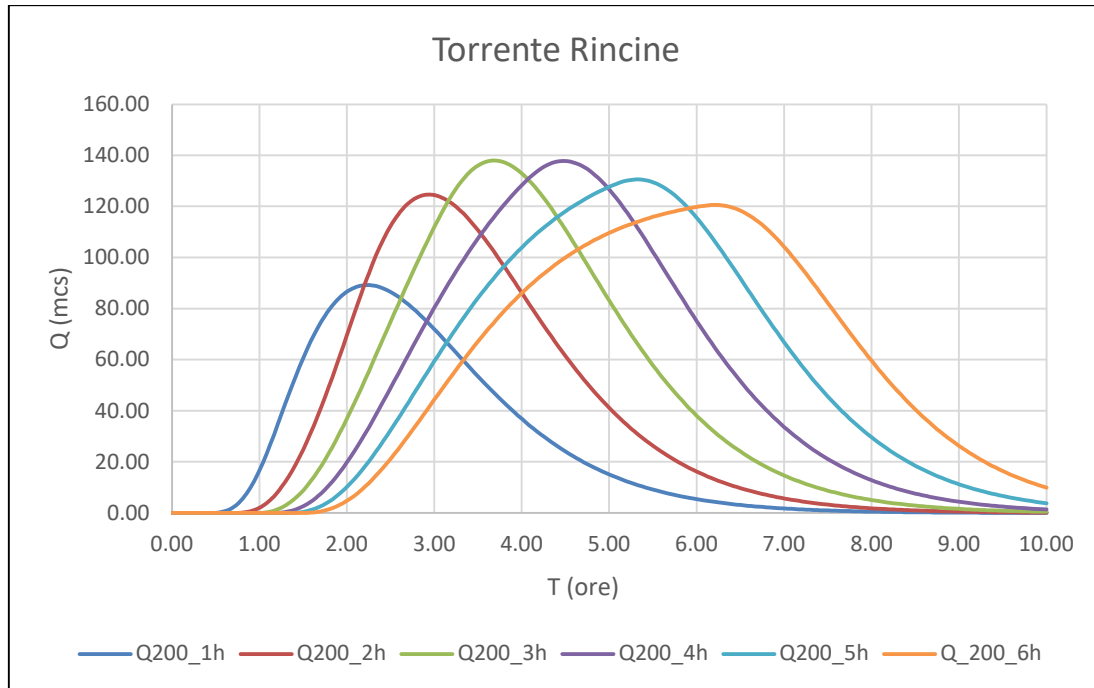


Figura 5.6: Idrogrammi di piena del Torrente Rincine per TR200 e varie durate di precipitazione.

Dagli idrogrammi della figura precedente si osserva che il valore massimo si ottiene per durate di 3-4 di pioggia.

La verifica idraulica in moto permanente di cui al seguente paragrafo è stata condotta per tutte le portate sopra indicate, utilizzando i rispettivi valori al colmo, come da seguente tabella.

Portate al colmo (mc/s)	TR200 D=1 ora	TR200 D=2 ore	TR200 D=3 ore	TR200 D=4 ore	TR200 D=5 ore	TR200 D=5 ore
<i>Torrente Rincine</i>	89.23	124.63	137.97	137.79	130.58	120.54

Tabella 5.4: Valori al colmo delle portate di piena del Torrente Rincine per TR200 anni e durata variabile.



I valori ricavati dall'analisi idrologica fin qui condotta sono del tutto paragonabili con quelli adottati negli studi di supporto a PSI. La portata al colmo per TR200 a durata critica 4 ore è infatti stimata in 138.58 mc/s.

## **4.2. MODELLISTICA IDRAULICA**

In questo paragrafo è sinteticamente descritto il modello idraulico predisposto su un breve tratto d'asta del Torrente Rincine a valle del Lago di Londa.

Per questo modello idraulico, sviluppato in moto permanente, ci si è avvalsi del software HecRas 5.0.7.

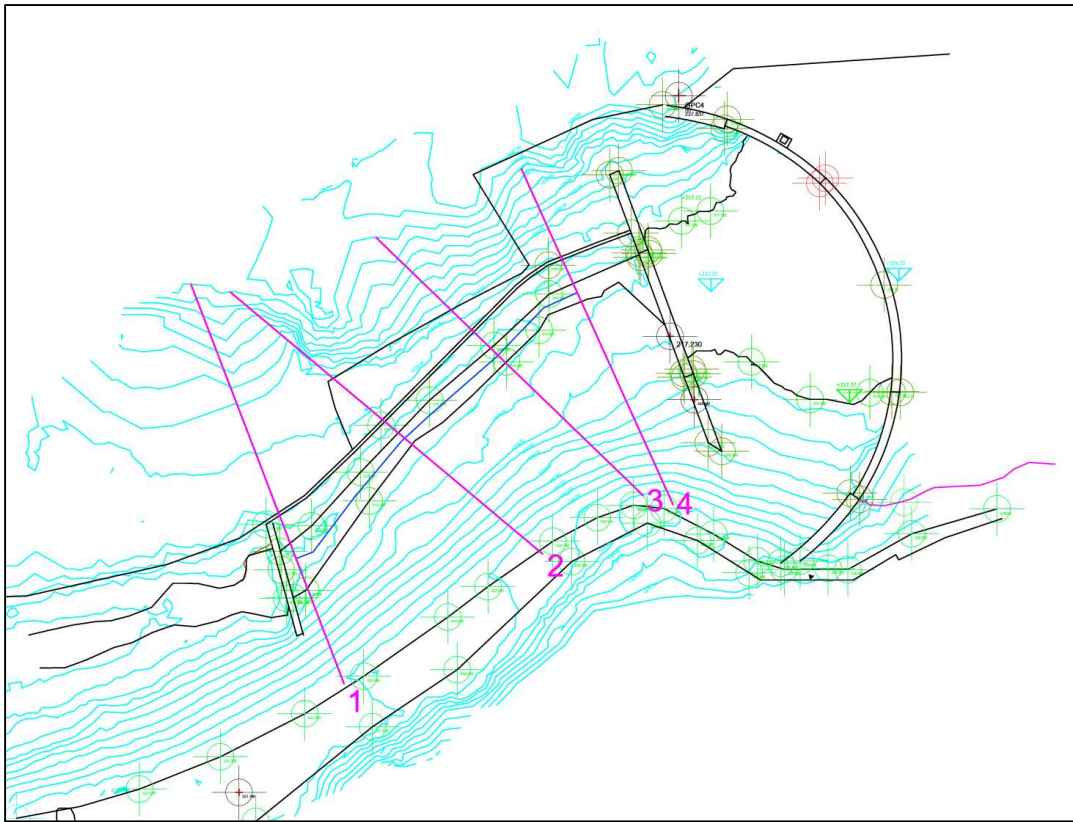
Come anticipato, il modello si fonda sull'ipotesi che l'intera portata di piena del Torrente Rincine possa giungere alla sezione di ingresso del modello stesso, che è posta immediatamente a valle della controbriglia dell'invaso; ciò significa trascurare gli effetti dell'invaso stesso, e dei suoi manufatti, e tale approccio è da ritenersi cautelativo.

La ricostruzione geometrica dell'asta di studio è affidata a n. 4 sezioni idrauliche abbastanza ravvicinate, ricavate dal rilievo appositamente effettuato sull'area.

Tale rilievo è stato eseguito a mezzo di drone ed integrato con alcuni punti battuti a terra con strumentazione GPS.

Elaborando l'insieme dei dati rilevati è stato approntato un Modello Digitale del Terreno locale (DTM), dal quale sono state poi estratte le n. 4 sezioni anzidette.

La seguente figura mostra il DTM frutto del rilievo effettuato.



**Figura 5.7: Estratto del rilievo topografico sull'area di interesse.**

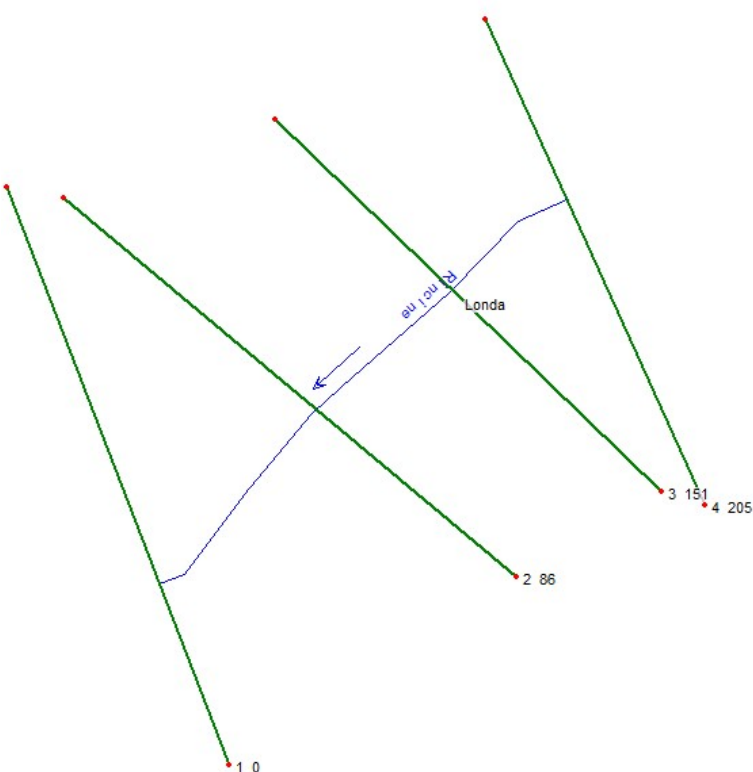
Nella precedente figura si distinguono i punti rilevati a terra con strumentazione GPS e le curve di livello estratte dal DTM elaborato sulla nuvola di punti del rilievo con drone.

Le sezioni idrauliche utilizzate nel modello sono quelle indicate in Fig. 5.7, poste tra la controbriglia ed il successivo salto idraulico ivi presente.

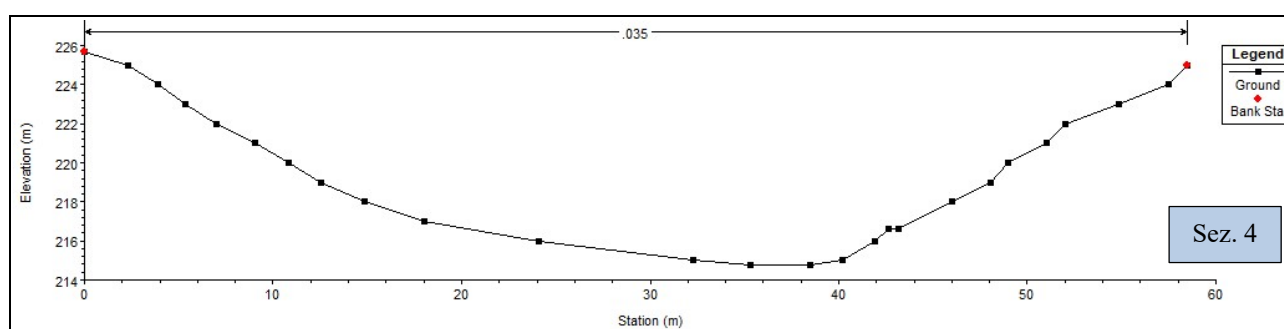
Come sezione di riferimento per il progetto è assunta la sezione n. 4.

La seguente figura mostra la ricostruzione del tratto d'asta in studio secondo lo schema del software HecRas. Segue la rappresentazione delle n. 4 sezioni del modello.

Come si può ben vedere, le sezioni del modello sono estese, in modo che l'intera portata in transito possa esservi contenuta.



**Figura 5.8:** Schema geometrico del modello del Torrente Rincine a valle del Lago di Londa, nella rappresentazione del software HecRas.



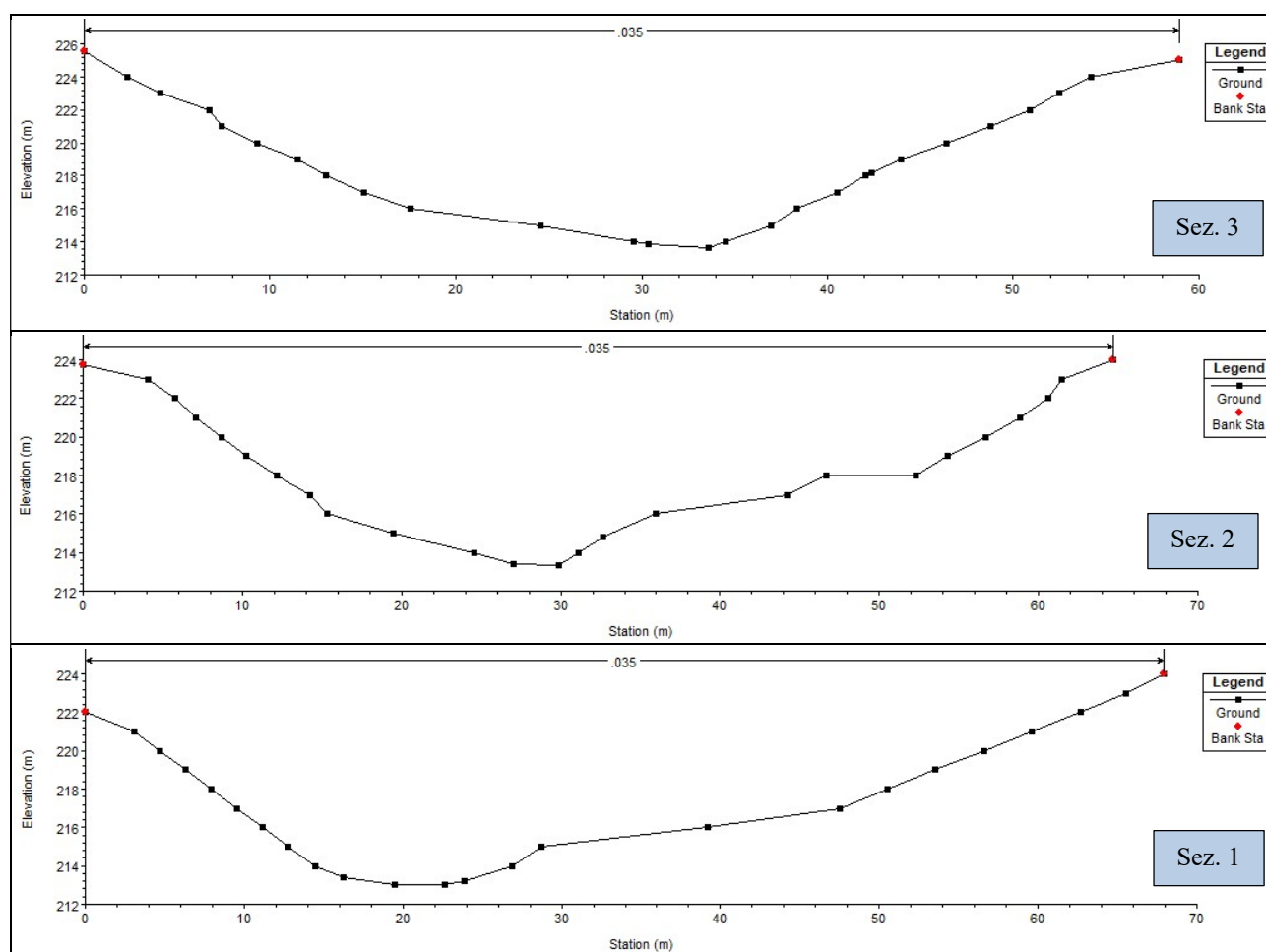


Figura 5.9: Sezioni del modello idraulico.

Le sezioni del modello risultano abbastanza simili come forma; ad esse è stato assegnato un coefficiente di scabrezza di Manning pari a  $0.035 \text{ s/m}^{1/3}$ .

Nelle verifiche idrauliche in moto permanente sono necessarie condizioni al contorno sia a monte (sezione n. 4) che a valle (sezione n. 1); in entrambi i casi è stata utilizzata una condizione di *Normal depth* (pendenza di moto uniforme) che, dai dati topografici a disposizione, risulta rispettivamente pari a 0.068 e 0.014.



Le simulazioni idrauliche di stato attuale, a seguito di implementazione delle portate di cui al paragrafo precedente, hanno consentito di calcolare i massimi livelli idrometrici sezione per sezione.

In particolare, per quanto riguarda la sezione n. 4, in corrispondenza della quale sarà posto il locale tecnico della centrale e avverrà la restituzione al corso d'acqua delle acque derivate, allo stato attuale 216.26 m slm, sia per l'evento di durata di 3 ore che di 4 ore (del resto, i valori al colmo di portata sono praticamente identici).

La seguente figura mostra la sezione n. 4 con tutti i livelli idrometrici duecentennali.

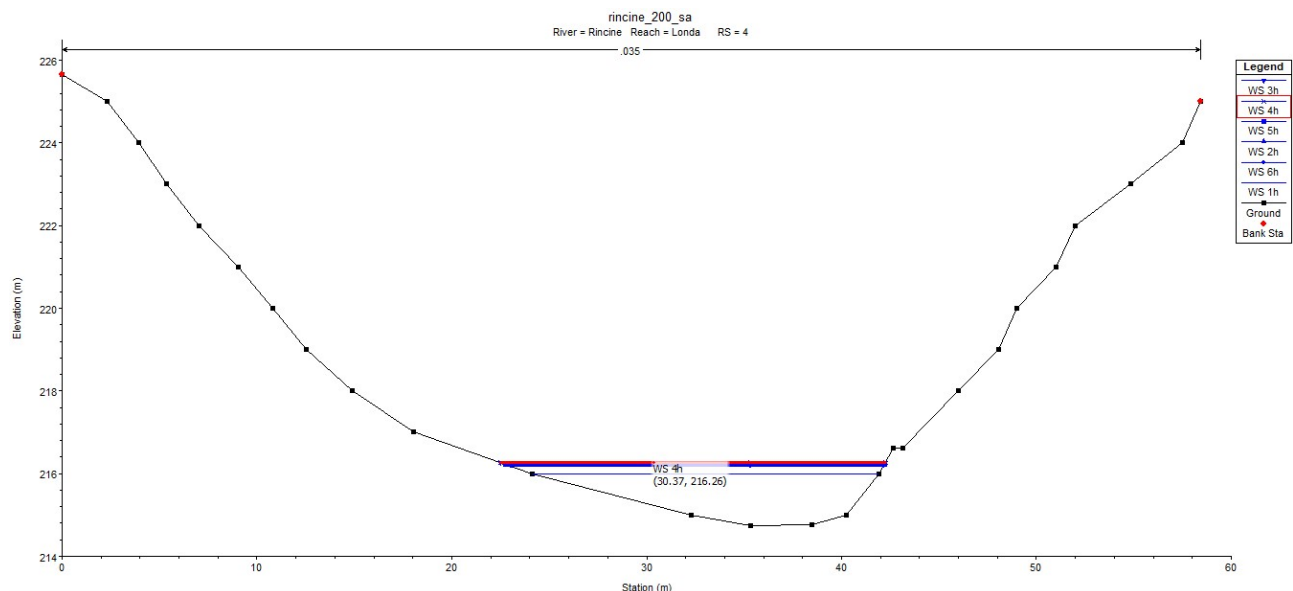


Figura 5.10: Sezione n. 4 con livelli idrometrici TR200 stato attuale.

Il massimo livello idrometrico duecentennale presso la sezione n. 4 è di **216.26 m slm**. Dal modello idraulico di supporto al PSI invece il livello massimo nella sezione (00044BC16) di interesse è pari a **216.79 m slm**.

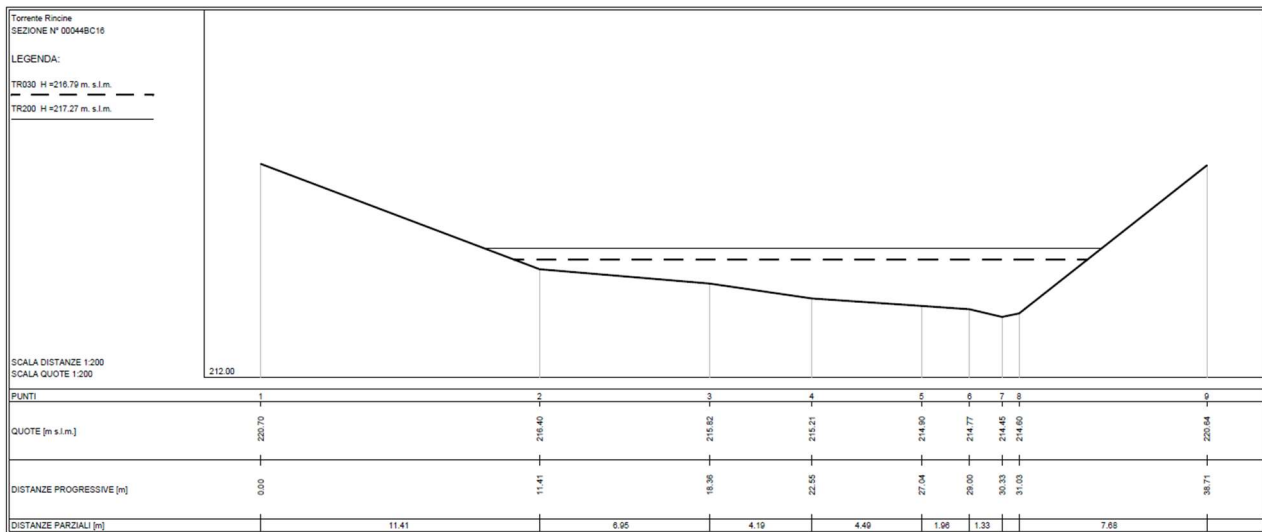


Figura 5.11: Sezione n. 00044BC16 con livelli idrometrici TR30 e TR200 estratta dal PSI.

Per quanto ci siano lievi discrepanze altimetriche fra le sue sezioni, la modellazione a supporto del PSI può ritenersi sicuramente più accurata, data la maggiore caratterizzazione del corso d'acqua, e pertanto viene presa a riferimento per le scelte progettuali.

## 5. VERIFICA DELLO STATO DI PROGETTO E CONCLUSIONI

In questo capitolo sono brevemente sono illustrati i risultati della verifica idraulica di progetto e successivamente esposte alcune considerazioni conclusive.

La verifica idraulica di progetto è stata predisposta solo “*proforma*”.

È stato disegnato l'ingombro del nuovo locale tecnico di alloggiamento della turbina, a dimostrare la non interferenza con la sezione bagnata attuale e quindi il non aggravio delle condizioni di rischio per eventi di piena con tempo di ritorno duecentennale.

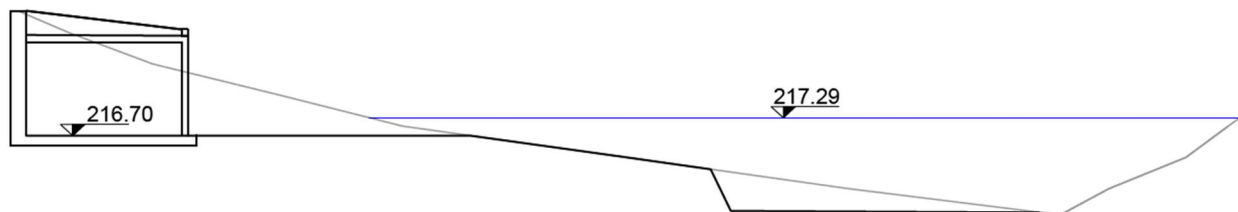


Figura 5.12: Sezione stato attuale e di progetto in corrispondenza della sezione 00044BC16 con livello TR200.

Il locale centrale, posto a quota di 216.70 m slm, assicura la non alterazione del buon regime delle acque ed è tale da non costituire un aggravio del rischio in altre aree derivante dalla realizzazione dell'intervento, localmente la sezione idraulica potrà verosimilmente vedere una riduzione dei livelli idrici massimi.

Stante però il livello di riferimento duecentennale di 217.29 m slm, l'accesso al locale centrale dovrà essere dotato di paratie antiallagamento fino a quota **217.60 m slm** comprensiva di franco di sicurezza di 30 cm, ovvero sarà adottato un infisso a tenuta stagna che garantisce la sicurezza idraulica del manufatto.

Preme evidenziare come i serramenti antiallagamento garantiscano oltre alla tenuta stagna, un ottimo isolamento termico ed acustico e standard di sicurezza elevati. Le paratie antiallagamento, possono essere costituiti di doghe impilabili e componibili con guide laterali e leve di compressione. Una volta installate le guide laterali, le doghe sono poste una sull'altra fino al raggiungimento dell'altezza di progetto.

Con le verifiche effettuate si è quindi dimostrata la compatibilità idraulica del progetto e l'assenza di interferenza con le dinamiche di piena del Torrente Rincine in uscita dal Lago di Londa.

In sede di progettazione definitiva delle opere dovrà essere posta particolare attenzione alla modalità di restituzione delle acque nel Torrente Rincine, che dovrà essere tale da non alterare il regime delle acque anche in caso di portate ordinarie e non indurre fenomeni di erosione localizzata.

Allo stesso modo, a lavori eseguiti la sponda sinistra del Torrente Rincine dovrà essere ripristinata, su tutta l'area di intervento, alla conformazione attuale o, in caso di esigenza, ad una conformazione tale da non diminuire la luce libera e non provocare incrementi dei livelli idrometrici.

## **6. APPENDICE – TABULATI DI CALCOLO**

Di seguito sono riportati tutti i tabulati e gli altri output delle simulazioni effettuate, sia allo stato attuale.



HEC-RAS River: Rincine Reach: Londa

Reach	River Sta	Profile	Plan	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Londa	4 205	1h	rincine_200_sa	89.23	214.75	216.00	216.60	218.03	0.068098	6.31	14.13	17.78	2.26
Londa	4 205	1h	rincine_200_sp	89.23	214.75	216.00	216.60	218.03	0.068094	6.31	14.13	17.78	2.26
Londa	4 205	2h	rincine_200_sa	124.63	214.75	216.20	216.93	218.68	0.068044	6.98	17.85	19.25	2.31
Londa	4 205	2h	rincine_200_sp	124.63	214.75	216.20	216.92	218.68	0.068038	6.98	17.86	19.25	2.31
Londa	4 205	3h	rincine_200_sa	137.97	214.75	216.26	217.04	218.90	0.068054	7.20	19.17	19.74	2.33
Londa	4 205	3h	rincine_200_sp	137.97	214.75	216.26	217.02	218.90	0.068046	7.19	19.18	19.75	2.33
Londa	4 205	4h	rincine_200_sa	137.79	214.75	216.26	217.04	218.90	0.068054	7.19	19.16	19.73	2.33
Londa	4 205	4h	rincine_200_sp	137.79	214.75	216.26	217.02	218.90	0.068046	7.19	19.16	19.74	2.33
Londa	4 205	5h	rincine_200_sa	130.58	214.75	216.23	216.98	218.78	0.068048	7.08	18.45	19.47	2.32
Londa	4 205	5h	rincine_200_sp	130.58	214.75	216.23	216.97	218.78	0.068041	7.08	18.45	19.48	2.32
Londa	4 205	6h	rincine_200_sa	120.54	214.75	216.17	216.90	218.61	0.068046	6.91	17.44	19.09	2.31
Londa	4 205	6h	rincine_200_sp	120.54	214.75	216.17	216.89	218.61	0.068034	6.91	17.44	19.10	2.31
Londa	3 151	1h	rincine_200_sa	89.23	213.64	215.42	215.95	217.05	0.041477	5.65	15.79	15.95	1.81
Londa	3 151	1h	rincine_200_sp	89.23	213.64	215.42	215.95	217.05	0.041477	5.65	15.79	15.95	1.81
Londa	3 151	2h	rincine_200_sa	124.63	213.64	215.67	216.29	217.65	0.043535	6.24	19.98	18.02	1.89
Londa	3 151	2h	rincine_200_sp	124.63	213.64	215.67	216.29	217.65	0.043510	6.24	19.99	18.03	1.89
Londa	3 151	3h	rincine_200_sa	137.97	213.64	215.75	216.41	217.86	0.044242	6.43	21.45	18.70	1.92
Londa	3 151	3h	rincine_200_sp	137.97	213.64	215.75	216.41	217.86	0.044206	6.43	21.46	18.70	1.92
Londa	3 151	4h	rincine_200_sa	137.79	213.64	215.75	216.41	217.86	0.044232	6.43	21.43	18.69	1.92
Londa	3 151	4h	rincine_200_sp	137.79	213.64	215.75	216.41	217.86	0.044198	6.43	21.44	18.69	1.92
Londa	3 151	5h	rincine_200_sa	130.58	213.64	215.71	216.34	217.75	0.043855	6.33	20.64	18.33	1.90
Londa	3 151	5h	rincine_200_sp	130.58	213.64	215.71	216.34	217.75	0.043828	6.32	20.65	18.33	1.90
Londa	3 151	6h	rincine_200_sa	120.54	213.64	215.64	216.26	217.59	0.043309	6.17	19.52	17.81	1.88
Londa	3 151	6h	rincine_200_sp	120.54	213.64	215.65	216.26	217.59	0.043286	6.17	19.53	17.81	1.88
Londa	2 86	1h	rincine_200_sa	89.23	213.37	215.70	215.73	216.39	0.012213	3.68	24.28	18.57	1.03
Londa	2 86	1h	rincine_200_sp	89.23	213.37	215.70	215.73	216.39	0.012213	3.68	24.28	18.57	1.03
Londa	2 86	2h	rincine_200_sa	124.63	213.37	215.98	216.11	216.88	0.013964	4.21	29.64	20.47	1.12
Londa	2 86	2h	rincine_200_sp	124.63	213.37	215.98	216.11	216.88	0.013948	4.20	29.65	20.48	1.12
Londa	2 86	3h	rincine_200_sa	137.97	213.37	216.05	216.25	217.05	0.015113	4.43	31.13	21.10	1.16
Londa	2 86	3h	rincine_200_sp	137.97	213.37	216.05	216.25	217.05	0.015089	4.43	31.15	21.10	1.16
Londa	2 86	4h	rincine_200_sa	137.79	213.37	216.05	216.24	217.05	0.015099	4.43	31.11	21.09	1.16
Londa	2 86	4h	rincine_200_sp	137.79	213.37	216.05	216.24	217.05	0.015076	4.43	31.13	21.09	1.16
Londa	2 86	5h	rincine_200_sa	130.58	213.37	216.01	216.17	216.96	0.014506	4.31	30.27	20.71	1.14
Londa	2 86	5h	rincine_200_sp	130.58	213.37	216.01	216.17	216.96	0.014491	4.31	30.28	20.72	1.14
Londa	2 86	6h	rincine_200_sa	120.54	213.37	215.96	216.07	216.83	0.013585	4.13	29.20	20.33	1.10
Londa	2 86	6h	rincine_200_sp	120.54	213.37	215.96	216.07	216.83	0.013570	4.13	29.22	20.33	1.10
Londa	1 0	1h	rincine_200_sa	89.23	213.00	214.73	215.08	215.92	0.022786	4.83	18.49	15.01	1.39
Londa	1 0	1h	rincine_200_sp	89.23	213.00	214.73	215.08	215.92	0.022786	4.83	18.49	15.01	1.39
Londa	1 0	2h	rincine_200_sa	124.63	213.00	215.14	215.53	216.41	0.020317	4.98	25.00	17.66	1.34
Londa	1 0	2h	rincine_200_sp	124.63	213.00	215.14	215.53	216.41	0.020319	4.98	25.00	17.66	1.34
Londa	1 0	3h	rincine_200_sa	137.97	213.00	215.27	215.67	216.57	0.020608	5.05	27.34	19.19	1.35
Londa	1 0	3h	rincine_200_sp	137.97	213.00	215.27	215.67	216.57	0.020605	5.05	27.35	19.19	1.35
Londa	1 0	4h	rincine_200_sa	137.79	213.00	215.27	215.67	216.56	0.020603	5.04	27.31	19.17	1.35
Londa	1 0	4h	rincine_200_sp	137.79	213.00	215.27	215.67	216.56	0.020601	5.04	27.32	19.17	1.35
Londa	1 0	5h	rincine_200_sa	130.58	213.00	215.20	215.59	216.48	0.020461	5.01	26.06	18.36	1.34
Londa	1 0	5h	rincine_200_sp	130.58	213.00	215.20	215.59	216.48	0.020460	5.01	26.06	18.36	1.34
Londa	1 0	6h	rincine_200_sa	120.54	213.00	215.10	215.49	216.36	0.020249	4.97	24.24	17.13	1.33
Londa	1 0	6h	rincine_200_sp	120.54	213.00	215.10	215.49	216.36	0.020251	4.97	24.24	17.13	1.33

